APPUNTI DI ELETTRONICA

VOL. 1

Supplemento al n. 3 di SPERIMENTARE
Sped. in Abb. Postale Gruppo III/70

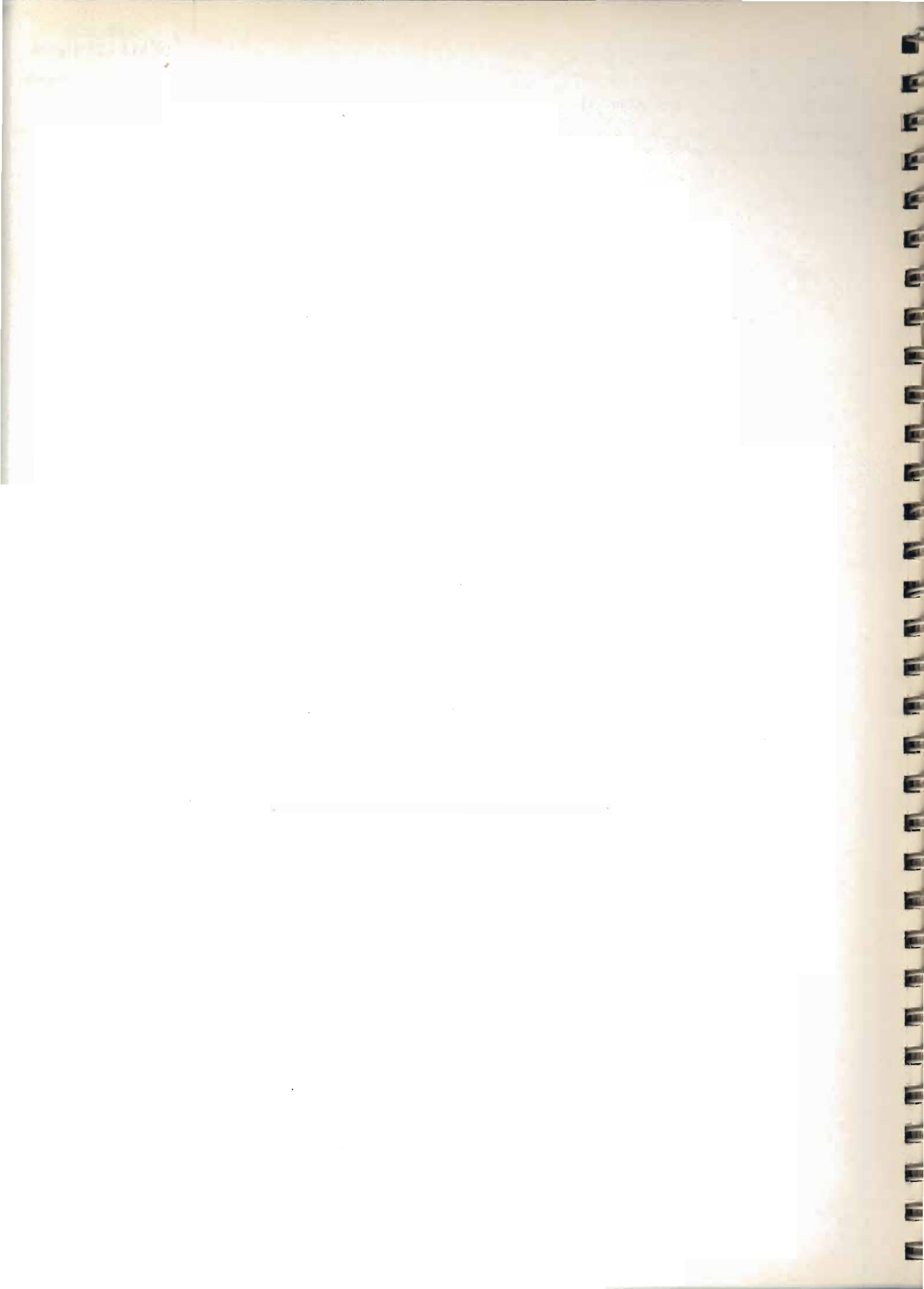
APPUNTI DI ELETTRONICA

Volume 1°

Indice dei Capitoli e dei **Paragrafi** relativi alle Sezioni 0 (propedeutica) e 1 (Grandezze fondamentali)

Capitolo 00

PRESENTAZIONE

Indice dei paragrafi e degli argomenti

Paragrafo 00.0

ESPOSIZIONE GENERALE

Indice degli argomenti e delle pagine

STRUTTURA DELL'OPERA

Questo libro è costituito da una raccolta di fogli che trattano ciascuno un solo argomento come risulta dalla intestazione unificata.

L'argomento trattato su ogni singola pagina, viene esaurito nella stessa pagina.

In questo modo si evita che le figure possono trovarsi in pagine diverse da quelle del testo e perciò la lettura viene facilitata.

CARATTERISTICHE

Il libro può essere trasformato in una raccolta di fogli mobili semplicemente staccandoli dal dorso, forandoli opportunamente e raccogliendoli in apposita copertina con anelli che si trova in qualsiasi cartoleria.

Questo sarà opportuno farlo:

1) — qualora il lettore intendesse aggiungere suoi appunti
2) — qualora il lettore volesse inserire dei cartoncini separatori per facilitare la ricerca e per meglio suddividere i capitoli
3) — per inserire eventuali fogli aggiuntivi che nel futuro venissero pubblicati
4) — per poter effettuare confronti di analogie con altri fogli della raccolta.

A questo scopo si segnala che il codice decimale di collocazione, posto accanto alla testata unificata, vuole ottenere lo scopo di permettere l'inserzione di fogli senza interferire sulla struttura stessa della pubblicazione.

Il lettore può dotare di linguette sporgenti con il richiamo del codice ogni foglio relativo ai vari indici.

In questo modo si facilita la ricerca e la consultazione.

Non si è voluto predisporre questo vantaggio in sede redazionale per non rendere troppo costoso ogni volume.

METODO DI SPIEGAZIONE

Si è voluto dare alle figure un valore preponderante usando il testo come ausiliario esplicativo delle stesse.

Questo metodo, che si allontana dall'ortodossia tradizionale, è stato gradito dai lettori della precedente esperienza editoriale (v..pagg. seguenti).

Essi hanno riconosciuto in questo metodo una forza comunicativa notevole e molto più vicina a quella della viva voce dell'insegnante che spiega alla lavagna dialogando con gli allievi.

Vorremmo che il lettore apprezzasse quanto questo metodo abbia richiesto maggior dedizione da parte dell'autore e della Redazione e maggiori costi da parte dell'Editore.

CONTRASSEGNI SULLE PAGINE

I contrassegni riportati sulle pagine in alto a destra hanno il seguente scopo:

nessun contrassegno	pagine sufficienti per coloro che voglio accontentarsi di una conoscenza superficiale
una stella ✶	pagine destinate a coloro che desiderano una maggior conoscenza della materia, ma non possono essere trascurate dai lettori delle sole pagine senza contrassegno per quanto riguarda le conclusioni
due stelle ✶ ✶	pagine destinate solo a coloro che desiderano un maggior approfondimento.

CRITERIO DI NUMERAZIONE DECIMALE DEI FOGLI

A) SUDDIVISIONE

L'opera è suddivisa in 10 sezioni
Ogni sezione è suddivisa in 10 capitoli
Ogni capitolo è suddiviso in 10 paragrafi
Ogni paragrafo è suddiviso in 10 argomenti

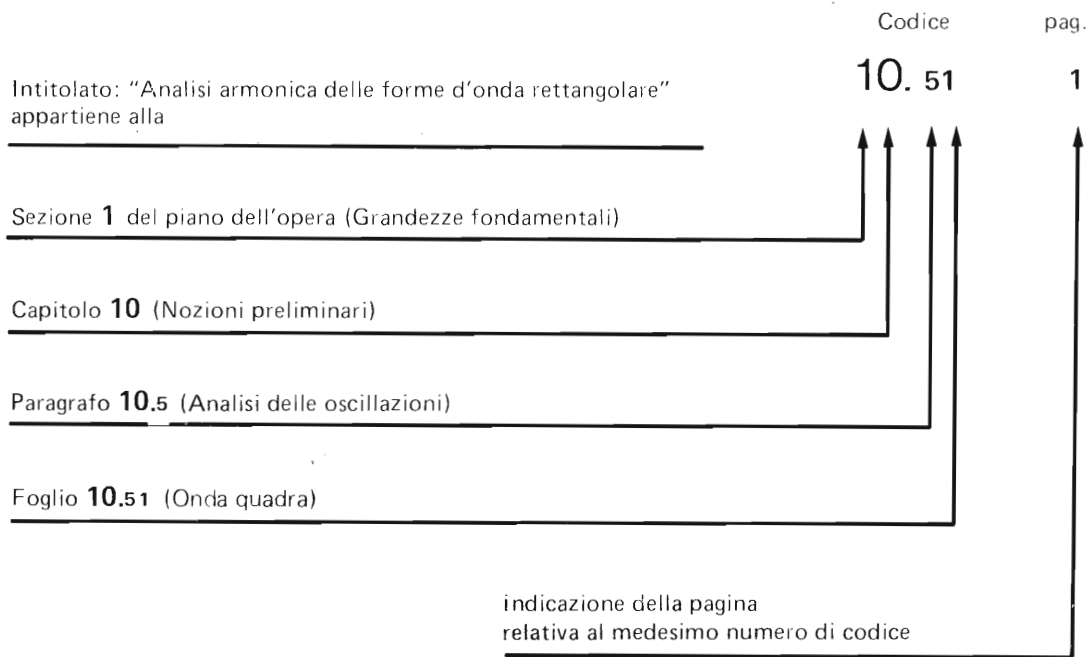
B) CODICE DI NUMERAZIONE DELLE PAGINE DI TESTO

Normalmente ogni foglio è individuato da un

codice di quattro cifre

suddivise in due gruppi di due cifre
(due cifre intere e due cifre decimali)

Ogni cifra si riferisce ad una suddivisione del soggetto relativo alla cifra precedente.

C) ESEMPIO: il foglio

COMUNICAZIONE AI LETTORI

Cari lettori,

PREMESSA

la precedente pubblicazione di questi fogli sulla rivista "Sperimentare" è stata oggetto di una esperienza interessante per tutti.

Lo scopo dell'autore, che l'Editore, la Direzione e la Redazione avevano accettato, consisteva nella elaborazione di articoli propedeutici di elettronica di nuova concezione da pubblicare sulla rivista senza una sequenza precisa.

Si è provveduto, per chi avesse voluto farne la raccolta, a dotare ogni pagina di un codice di collocazione al fine di dare alle pagine stesse una sequenza logica, in modo da trasformare la collezione in volumi di facile consultazione.

Il gradimento dei lettori ha però creato alcune difficoltà.

Coloro che vedevano nella pubblicazione un "corso di elettronica" volevano presto vederne la fine.

I nuovi lettori volevano gli arretrati, che quando reperibili, rendevano notevole la spesa per lo scopo che volevano raggiungere.

Ed è così che l'Editore ha deciso di ripubblicare il lavoro nella veste attuale.

PRESENTAZIONE

Non è facile improvvisarsi buon tecnico elettronico perché difficilmente la tecnica elettronica è intuibile da chi ci si accosta per la prima volta.

Infatti niente è tanto apparentemente statico e al tempo stesso tanto freneticamente dinamico di ciò che è contenuto in una apparecchiatura elettronica.

Il meccanico, l'idraulico, il muratore, il falegname e perfino l'elettrotecnico vedono il funzionamento delle loro opere e possono apportarvi riparazioni, modifiche o miglioramenti, appoggiandosi unicamente al loro intuito.

Il tecnico elettronico non può. Niente si muove sotto il suo sguardo; di primo acchito i collegamenti e gli elementi del circuito sembrano tutti uguali.

Per capire qualche cosa egli deve avere imparato prima.

Deve fare delle misure, deve fare qualche piccolo calcolo, deve consultare delle tabelle.

Insomma, deve avere studiato la materia!

Conoscenza dell'elettronica significa soprattutto e prima di tutto conoscenza della matematica e della geometria per sapere bene calcolare gli elementi e ben interpretare i grafici.

COME E' NATA L'IDEA

Chi vuole studiare bene ciò che legge dai libri o vuole fissare bene nella memoria ciò che ha imparato dalla viva voce dell'insegnante, inevitabilmente si fa degli appunti.

Il saper fare appunti è però anche un'arte e il farli per se stesso è molto più semplice che farli in modo che siano leggibili anche agli altri.

L'autore che non è un pozzo di scienza, ma un pazzo per l'insegnamento e per l'elettronica, doveva pur prima imparare se voleva ben insegnare.

E' così che si è fabbricato questi appunti congegnati in modo che sinotticamente potessero essere ricordati con un solo sguardo.

Il continuo dialogo con gli allievi, le loro mille domande per le quali egli è a loro grato, hanno permesso il continuo perfezionamento attraverso l'individuazione delle difficoltà.

La scoperta di questi appunti da parte degli allievi e la loro diffusione nell'Istituto dettero l'idea all'autore di farne una pubblicazione che la Casa J.C.E. accettò.

ILLUSTRAZIONE DEL METODO

Con questi appunti si vorrebbe ottenere lo scopo di spiegare la materia con la stessa evidenza di una lezione fatta alla lavagna.

Si è constatato che la netta separazione fra testo e figura, tanto cara agli Editori in generale perchè più economica, crea difficoltà all'apprendimento dato che lascia allo studioso il fastidio e la perdita di tempo di integrare nella sua immaginazione il testo e la figura.

Questo metodo consiste appunto nell'integrazione fra testo e figura e per questo si è fatto anche in modo che la trattazione di ogni argomento non vada mai al di là della pagina nella quale si trova.

Sui vantaggi della codificazione dei fogli è già stata data spiegazione.
Le quattro cifre decimali del codice più il numero illimitato di pagine che ciascuno può contenere non spaventino il lettore: non vogliamo occupare tutte le possibilità offerte da questo sistema!
Se riusciremo a produrre 1.500 pagine in 10 fascicoli ringrazieremo il destino di aver mantenuto salute ed entusiasmo all'autore, accettazione al Lettore e prosperità all'Editore.

FORMULE

Dalla formula il principiante, poco avvezzo alla matematica, si aspetta di avere il magico meccanismo secondo il quale, introdotti i dati, si ottiene un risultato.

Sì, la formula serve anche per questo, ma chi non conosce bene il significato di alcune espressioni fondamentali, che oltre a tutto sono anche semplici, resta disorientato dalle miriadi di formule particolari che da queste derivano, fra le quali egli deve effettuare la scelta.

Noi bandiremo le formule come espressioni statiche, ma ci occuperemo delle relazioni matematiche che certe grandezze devono mantenere fra di loro per rispettare un determinato fenomeno in qualsiasi circostanza.

CONCETTI

Se lo studioso di un fenomeno della natura ne afferra il concetto fondamentale, che generalmente è assai semplice anche in elettronica, non gli sarà difficile tradurlo poi in espressione matematica.

Prendiamo un esempio sconcertante per la sua semplicità a cui non poche espressioni elettroniche assomigliano.

Si tratta infatti di risolvere il problema che dice: vado al mercato e compero: 3 Kg di mele a 500 L/Kg, 4 Kg di pere a 600 L/Kg e 5 Kg di arance a 700 L/Kg. Quanto ho speso in tutto?

Tutti conoscono il procedimento per ottenere il risultato richiesto.

Pochi saprebbero tradurlo nella seguente espressione matematica, che dice la stessa cosa:

$$S = p_1 Q_1 + p_2 Q_2 + p_3 Q_3$$

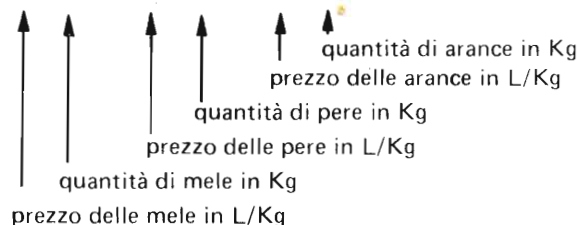
dove: S rappresenta la spesa totale

p_1, p_2, p_3 rappresentano rispettivamente i prezzi, in L/Kg, delle mele, delle pere e delle arance

Q_1, Q_2, Q_3 rappresentano rispettivamente le quantità acquistate, in Kg, di pere, mele e arance

Per facilitare lo studio, tutte le volte che sarà possibile, noi illustreremo l'espressione in questo modo.

Spesa totale in L. → $S = p_1 \quad Q_1 + p_2 \quad Q_2 + p_3 \quad Q_3$

quantità di arance in Kg
prezzo delle arance in L/Kg
quantità di pere in Kg
prezzo delle pere in L/Kg
quantità di mele in Kg
prezzo delle mele in L/Kg

PRECISAZIONI

E' interessante comunque vedere l'espressione matematica non come un mezzo statico per ottenere un risultato, ma come un mezzo dinamico per rendersi conto di come il risultato (la spesa totale nel caso dell'esempio precedente) possa cambiare al variare dei singoli prezzi o delle singole quantità.

Un altro modo più sintetico di esprimere lo stesso concetto di prima è il seguente:

$$S = \Sigma \cdot p_n Q_n$$

Noi cercheremo di evitare di ricorrere ad espressioni di questo tipo per non complicare lo studio, così come cercheremo di evitare espressioni legate al calcolo infinitesimale.

Se poi qualche lettore crede ancora che questo lavoro sia redatto a livello universitario sarà bene che si convinca di non avere la preparazione sufficiente per affrontare seriamente l'elettronica.

ALCUNE CONSIDERAZIONI

Gli scritti tecnici in generale non dovrebbero essere compilati in modo che la loro lettura debba essere ascoltata con voluttà tutta fine a se stessa!

I tecnici, e con questa parola vogliamo indicare tutti coloro che per motivi di lavoro o di passione amano ancora seguire le incorruttibili discipline di Pitagora, preferiscono scritti da osservare attentamente, piuttosto che leggerli pedissequamente, preferiscono scritti schematizzati in modo da ottenere da essi il maggior contenuto di informazione.

E' importante che il tecnico non debba far fatica, né perdere tempo per reperire in un libro, in un rapporto, in una lettera di lavoro, in un disegno o in una figura, l'informazione che gli interessa.

Il tempo che molti perdono a leggere e ad interpretare cattive o incomplete spiegazioni costuisce in una perdita economica molto maggiore del risparmio che si è fatto nella compilazione, che generalmente è eseguita in fretta e furia da una sola persona.

ARGOMENTI PREFERITI IN QUESTA TRATTAZIONE

Quando si vuol dare semplicità alla spiegazione di certi fenomeni bisogna anche avere il coraggio di dire delle inesattezze, per cui ne troverete molte qui dentro, dato che vogliamo perseguire lo scopo di convincere i principianti che l'elettronica non è una materia poi così complicata!

Per capire poi la complicazione delle cose è necessario che si abbia ben compreso prima la loro semplificazione.

Daremo più importanza agli argomenti che il lettore sia in grado di realizzare e di sperimentare con attrezzature abbastanza comuni.

Cenni soltanto verranno dati circa la struttura intima e dei metodi di produzione degli elementi del circuito poiché pensiamo che a nessuno verrà in mente, a livello singolo, di fabbricarsi un transistor o qualche altro elemento del circuito!

CHIEDIAMO VENIA

Nel rifacimento di ogni pagina si è tentato di ricuperare quanto si poteva del materiale già pubblicato su "Sperimentare".

Per questo motivo, spesso, la perfezione editoriale lascia un po' a desiderare e ne chiediamo venia ai lettori.

CONCLUSIONI

L'autore ringrazia la Direzione e l'Editore che, consapevoli degli scopi che si volevano raggiungere, non hanno lesinato spazio sacrificando i costi alla facilità dello studio per il lettore.

L'autore ringrazierà quei Lettori che vorranno dare suggerimenti, critiche, disapprovazioni, e che volessero anche segnalare argomenti di loro interesse.

A tutti buona lettura. Cordialmente il vostro

Alvas T. Gilcart

– LIBRI –

Abbreviazione nel contesto	Autore	Titolo	Edizione
Biancoli V.R.T.	L. Biancoli	Vademecum del tecnico Radio/TV	Carlo Moradei
Giometti	R. Giometti F. Frascari	Elettronica Elettronica Radiotecnica Vol. 1° e 2°	Calderini 1973
Terman RE Handb.	F.E. Terman	Radio Engineers' Handbook	McGraw Hill 1943
E.D.T.	——	Enciclopedia della Scienza e della Tecnica 10 vol.	Mondadori 1966
R.E.D.	——	Riassunti editoriali Delfino	Editoriale Delfino
Barbagelata	A. Barbagelata	Misure elettriche 2 vol.	Tamburini 1950
Telettra M.I.T.			

— RIVISTE —

	Titolo	Edizione
TA	Tecniche dell'automazione	ETASKOMPAS
Sp	Sperimentare	J.C.E.
S.R.	Selezione Radio TV	J.C.E.
E.O.	Elettronica Oggi	J.C.E.

INDICE ANALITICO DEL PRESENTE VOLUME

Avvertenza

Ricordando il criterio di codificazione espresso al cod. **00.01 - 2** nell'indice che segue

se l'indicazione è fatta con		significa che la voce cercata è trattata
una sola cifra	(es.: 2)	nell'intera **sezione** relativa alla cifra indicata
due cifre	(es.: 12)	nell'intero **capitolo** relativo alle cifre indicate
tre cifre	(es.: 11.4)	nell'intero **paragrafo** relativo alle cifre indicate
quattro cifre	(es.: 10.53)	nell'intero **argomento** relativo alle cifre indicate
cinque cifre	(es.: 10.21-3)	nella **pagina** relativa alle cifre indicate

Capitolo 10

NOZIONI PRELIMINARI

Indice dei paragrafi e degli argomenti

Paragrafo 10.0

GENERALITA'

Indice degli argomenti e delle pagine

UNITA' DI MISURA UNIVERSALI

Tutte le unità di misura derivano da tre grandezze fondamentali di cui si sono creati dei campioni internazionalmente riconosciuti e depositati.

Il sistema metrico internazionale si chiama anche sistema MKS dalle iniziali delle tre grandezze fondamentali che sono:

il metro	(m)	per le lunghezze e le distanze
il chilogrammo massa	(KgM)	per la quantità di materia
il secondo	(s)	per il tempo

Le altre grandezze sono tutte derivate dalle interazioni che i vari fenomeni fisici esercitano sui corpi. Esse sono comunque riportabili in termini che si esprimono ancora con le tre grandezze fondamentali.

UNITA' DI MISURA ELETTRICHE

Lo studioso potrà incontrare nei testi ancora l'ohm campione di resistenza elettrica come grandezza fondamentale insieme alle altre tre (sistema MKSΩ).

Attualmente il Sistema Internazione (SI) ha preferito l'ampere come unità di misura della corrente elettrica (sistema MKSA).

Per questa trattazione abbiamo ritenuto più intuitivo per un principiante considerare come fondamentale la quantità di elettricità o carica elettrica.

MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI

Certe unità di misura possono risultare o troppo grandi o troppo piccole per esprimere in cifre il valore della grandezza a cui si riferiscono.

Si usano perciò delle particelle attributive che si applicano ai nomi delle unità o misura quali prefissi come da tabella che segue

	Nome di	Simbolo	Fattore di moltiplicazione Espon.	Decimale	Significato rispetto all'unità
multipli	tera	T	10^{12}	1.000.000.000.000	milioni di milioni o migliaia di miliardi
	giga	G	10^{9}	1.000.000.000	miliardi o migliaia di milioni
	mega	M	10^{6}	1.000.000	milioni
	Kilo	K	10^{3}	1.000	migliaia
	etto	h	10^{2}	100	centinaia
	deca	da	10	10	decine
sottomultipli	deci	d	10^{-1}	0,1	decimi
	centi	c	10^{-2}	0,01	centesimi
	milli	m	10^{-3}	0,001	millesimi
	micro	μ	10^{-6}	0,000.001	milionesimi
	nano	n	10^{-9}	0,000.000.001	miliardesimi o millesimi di milionesimi
	pico	p	10^{-12}	0,000.000.000.001	milionesimi di milionesimi o millesimi di miliardesimi
	femto	f	10^{-15}	Si tratterebbe di cifre o parole senza senso dovendo indicare grandezze estremamente piccole, per cui non rimane che affidarsi alla sola espressione esponenziale.	
	atto	a	10^{-18}		

Spiegazione. Si dirà ad esempio:

3 nanosecondi invece di dire 3 miliardesimi di secondo e si scriverà 3 ns anziché 0,000.000.003 s
29 megawatt invece di dire 29 milioni di watt e si scriverà 29 MW anziché 29.000.000 w

PANORAMICA DELLE GRANDEZZE PIU' IMPORTANTI

A titolo di riferimento diamo subito un elenco in ordine albafetico di alcune grandezze che incontreremo nel corso della trattazione.

Si raccomanda ai principianti di non confondere i nomi e i simboli delle grandezze con i relativi delle unità di misura.

Grandezza Nome	Simb.	Definizione	Unità di misura Nome	Simb.	Equiv.
Accelerazione	a	Rapidità di variazione della velocità	metro al sec. x sec.	m/s^2	–
Capacità	C	Quantità di elettricità che bisogna mettere in un condensatore per fargli salire la tensione ai suoi capi di un determinato valore	farad	F	Q/V
Carica elettrica	Q	Fondamentale per noi (v. quant. di elettricità)	coulomb	C	–
Ciclo	c	L'insieme dei valori variabili di una grandezza che si ripetono costantemente	ciclo	c	–
Conduttanza	G	Rapporto fra corrente che si stabilisce attraverso un elemento e la tensione ad esso applicata	siemens	S	A/V
Corrente	I	Ritmo di passaggio di cariche elettriche attraverso un elemento del circuito	ampere	A	C/s
Distanza	d	Fondamentale (v. anche lunghezza)	metro	m	–
Energia	E	Attitudine di una massa per compiere lavoro	joule	J	N.m
Flusso elettrost.	Q	Quantità di elettricità che attraversa la sezione di un corpo o di spazio	coulomb	C	–
Flusso magnet.	ϕ	Quantità di magnetismo che attraversa la sezione di un corpo o di spazio	weber	Wb	–
Forza	F	Entità meccanica che imprime una data accelerazione ad una massa libera	newton	N	mKg/S^2
Forza elettrom.	E	Tensione ai capi di un generatore quando non è attraversato da corrente	Volt	V	–
Forza magnetom.	M	Entità elettrica produttrice di magnetismo	amperspira	Asp	–
Frequenza	f	Numero di cicli che si compiono in un determinato tempo	hertz	Hz	c/s
Induttanza	L	Rapidità di variazione della corrente che si riscontra in funzione di una tensione applicata	henry	H	–
Lavoro	L	Entità sviluppata da una massa durante uno spostamento sotto l'azione di una forza	joule	J	Nm
Lunghezza	l	Fondamentale (v. anche distanza)	metro	m	–
Massa	M	Fondamentale come quantità di materia	kilogrammo m	KgM	–
Periodo	T	Durata di un ciclo	secondo	s	s/c
Potenza	P	Energia sviluppata in un dato tempo	watt.	w	J/s
Potenziale	V	Livello di energia di un punto del circuito o di una carica ferma	volt	V	–
Quant. di elett.	Q	Fondamentale per noi (v. carica elettrica)	coulomb	C	–
Resistenza	R	Rapporto fra tensione che si stabilisce ai capi di un elemento e la corrente che l'attraversa	ohm	Ω	V/A
Superficie	S	Estensione di un piano	metro quadr.	m^2	–
Tempo	t	Fondamentale	secondo	s	–
Tensione	V	Livello di energia posseduta da una carica	volt	V	–
Volume	v	Estensione di una massa	metro cubo	m^3	–
Velocità	v	Distanza percorsa in un determinato tempo	metro al sec.	m/s	–

Paragrafo 10.1

ELETTRICITA'

Indice degli argomenti e delle pagine

ANALOGIA DI COMPORTAMENTO DELL'ENERGIA IDRICA CON QUELLA ELETTRICA

Un generatore di forza motrice può essere assimilato ad una torre che regge due serbatoi ad altezze differenti e contenenti acqua.

livello alto o polo positivo

conduttura = circuito

\+

corrente

differenza di potenziale della forza motrice (metri)

Energia interna o esterna provvede a mantenere costante il dislivello dell'acqua

la **lunghezza** del tubo, la sua **sezione** e la **natura** delle sue pareti costituiscono una **resistenza** alla corrente

potenziale del livello alto (metri)

livello basso o polo negativo

\-

corrente

potenziale del livello basso (metri)

Livello di riferimento (suolo, mare, ecc.)

UNITA' DI CARICA O DI QUANTITA' DI ELETTRICITA'

Come il chilogrammo (kg.) è stato scelto come unità di massa e di quantità di materia (p. es. acqua), così il

COULOMB (C)

è stato scelto come **unità di quantità di elettricità** o di carica elettrica. (v. anche 12.71)

UNITA' DI CARICA ED ELETTRONE

Come la molecola è la parte più piccola di una data materia, così l'elettrone è la parte più piccola di elettricità.

in un **chilogrammo** di acqua si trovano $\mathbf{3.25 - 10^{25}}$ molecole
In un coulomb di elettricità si trovano $\mathbf{5.25 - 10^{18}}$ elettroni

POTENZIALE DELLA CARICA

Come l'acqua può venire innalzata per farle acquistare del potenziale (in metri di altezza) anche l' elettricità può venire innalzata di potenziale (in volt. di tensione).

In altre parole: in **volt** si misura il livello della carica elettrica,
così come in **metri** si misura il livello della quantità di acqua

MOVIMENTO DELLE CARICHE

Come l'acqua scorre dall'altezza maggiore a quella minore e la sua portata si misura

in chilogrammi al secondo (o litri al secondo)

anche l'elettricità scorre dal potenziale maggiore a quello minore e la sua corrente si misura

in coulomb al secondo

Vedremo altrove che questa unità di misura prende il nome di ampere (A).

A differenza dell'acqua che può essere tolta da una tubazione, gli elettroni sono sempre presenti in qualunque materiale e in particolare nei conduttori anche quando non c'è passaggio di corrente.

GLI ELETTRONI SONO MICROCARICHE DI SEGNO NEGATIVO

A differenza delle molecole dell'acqua che si attirano fra di loro a causa dell'attrazione gravitazionale gli elettroni posseggono carica negativa, si respingono fra di loro e vengono soltanto attirati da cariche positive.

CARICHE POSITIVE

Esse si chiamano protoni ed insieme ad elettroni e neutroni costituiscono l'atomo.

ATOMO

Un atomo è la più piccola particella che costituisce un elemento della materia.
Esso è neutro quando ad un certo numero di suoi protoni corrisponde un ugual numero di elettroni.

IONE

Un atomo con una quantità di elettroni superiore od inferiore al numero dei suoi protoni si chiama ione, e può essere: **ione positivo** quando è in difetto di elettroni
ione negativo quando ha elettroni in eccesso.

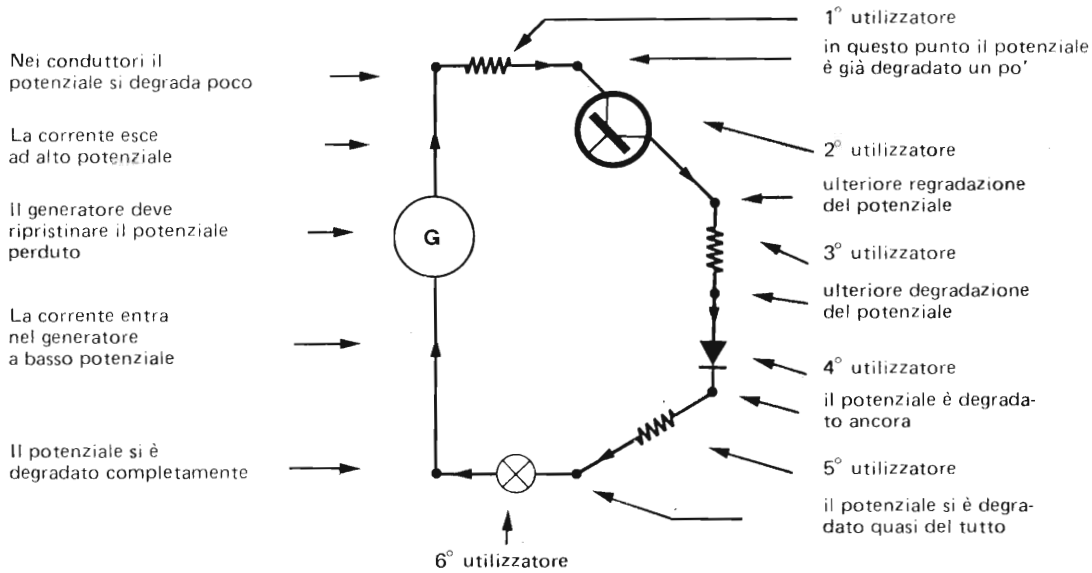
IL CIRCUITO ELETTRICO

Per circuito elettrico si intende l'insieme di dispositivi elettrici chiamati **elementi del circuito** collegati fra loro in vario modo per assolvere una determinata funzione.

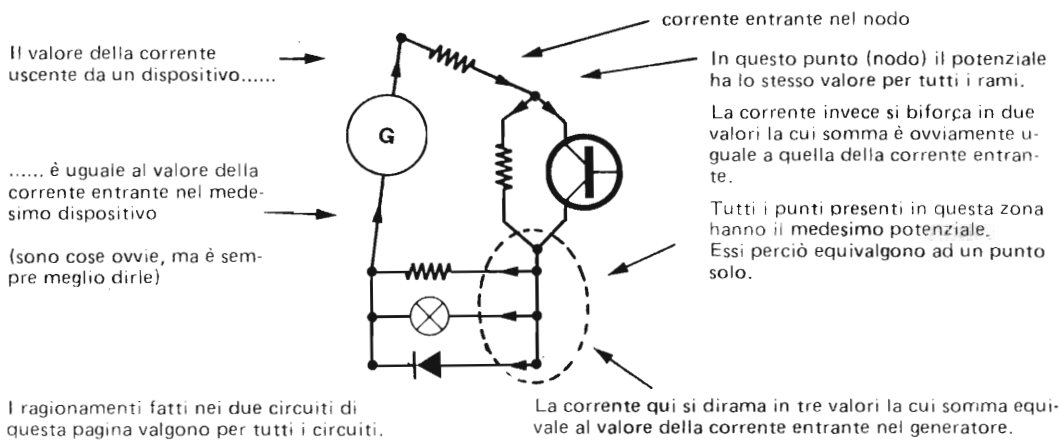
Si dice che la corrente elettrica percorre un circuito quando:

- esce da un terminale di un generatore fornita di alto potenziale
- attraversa i vari dispositivi utilizzatori (resistori, transistori, motori, altoparlanti ecc.)
- entra col potenziale degradato, nell'altro terminale del generatore
- esce di nuovo dal primo terminale col potenziale ripristino a spese dell'energia interna del generatore.

ESEMPIO DI CIRCUITO

Constatiamo con una semplice figura quanto abbiamo appena detto.

ALTRO ESEMPIO DI CIRCUITO

In questo esempio gli utilizzatori sono collegati in vario modo

I ragionamenti fatti nei due circuiti di questa pagina valgono per tutti i circuiti.

METODO GRAFICO DI RAPPRESENTAZIONE DEI CIRCUITI

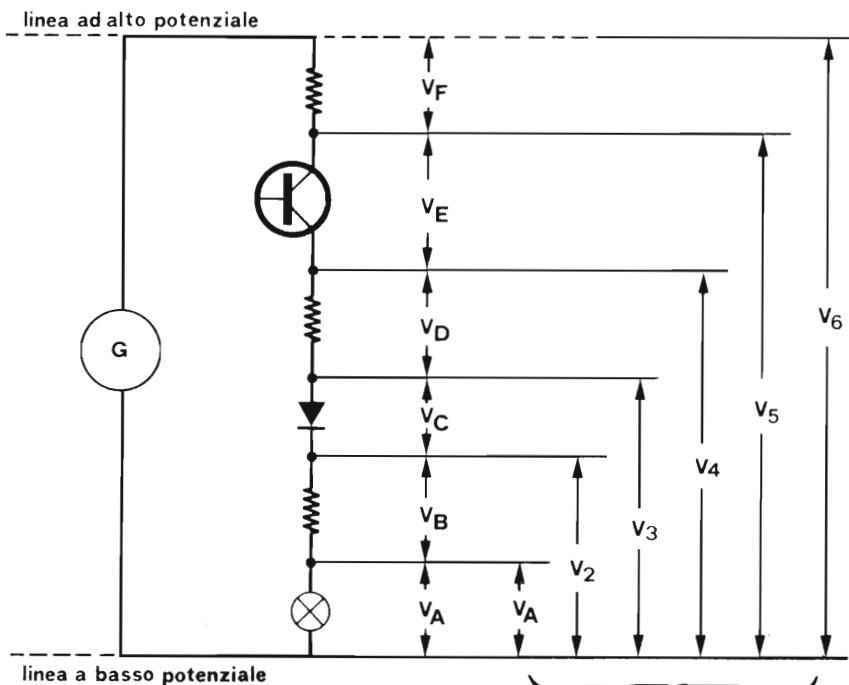
Noi cercheremo sempre di rappresentare i circuiti nel modo che segue:

Prendiamo ad esempio i circuiti precedenti

Primo circuito

Le linee orizzontali non saranno interrotte da elementi del circuito poiché rappresenteranno situazioni ad ugual potenziale

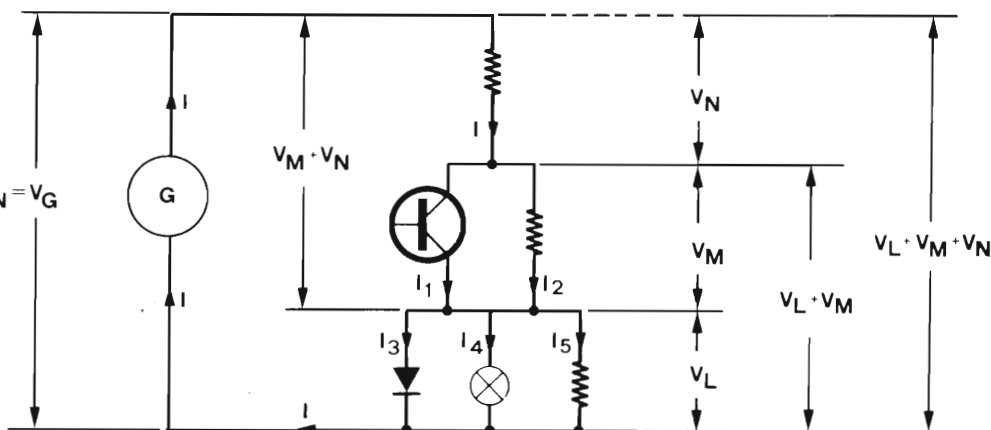
Il generatore spesso sarà omesso in quanto si riterrà sottinteso. La sola presenza delle due linee orizzontali estreme giustificheranno quella del generatore.

Notare come la tensione V_6 ai capi del generatore risulti uguale alla somma delle tensioni ai capi degli utilizzatori.

La disposizione in verticale degli elementi permette di creare una analogia fra la posizione di un punto dello schema e il livello del suo potenziale.

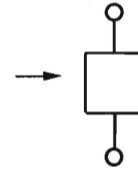
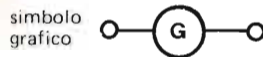
Differenze di potenziale fra un nodo e il successivo

Valori dei potenziali rispetto ad un punto di riferimento

Come punto di riferimento abbiamo preso la linea a basso potenziale

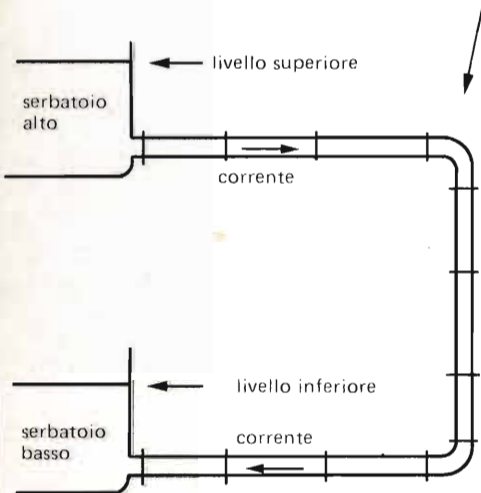
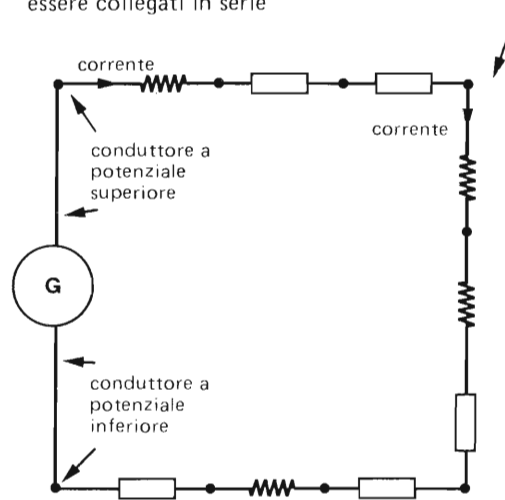
Secondo circuito

ELEMENTI DEL CIRCUITO

Iniziando ad accostarci nel mondo dell'elettronica, limitiamoci per ora a considerare i più comuni. Man mano che approfondiremo la materia impareremo a conoscerli tutti.

Quelli che considereremo qui posseggono sempre due terminali (uno per l'entrata della corrente e l'altro per l'uscita o viceversa) ai capi dei quali si misura una tensione.

Qui li vogliamo suddividere nelle seguenti tre grandi categorie.

Elementi attivi	Elementi reattivi	Elementi passivi
simbolo grafico	simbolo grafico	simbolo grafico
Definizione	Definizione	Definizione
Elementi che erogano energia elettrica (prelevandola sotto altra forma)	Elementi che sono in grado di accumulare e rendere energia elettrica sottoforma cinetica (corrente) o potenziale (tensione)	Elementi che **sfruttano** l'energia elettrica in vari modi.
Esempi	Esempi	Esempi
Dinamo Alternatori Accumulatori Microfoni ecc.	Induttori Condensatori	Lampadine Riscaldatori Altoparlanti Motori ecc.

COLLEGAMENTO IN SERIE DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO

Analogia

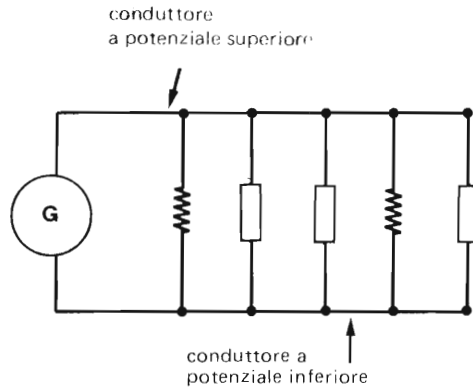
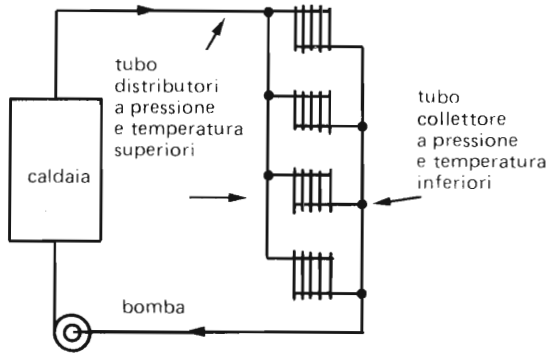
Come i tronchi di tubo di cui è costituita una tubazione si trovano collegati in serie fra loro ...

....così gli elementi di un circuito elettrico possono essere collegati in serie

Il collegamento in serie è caratterizzato dal fatto che:
tutti gli elementi collegati sono attraversati dalla medesima corrente mentre ai capi di ciascuno di essi si stabilisce una tensione che dipende dalle caratteristiche dell'elemento stesso

La somma delle singole tensioni sarà comunque uguale alla tensione presente ai capi del generatore.

COLLEGAMENTO IN PARALLELO DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO

Analogia

Come i radiatori di cui è costituito un impianto di riscaldamento sono collegati in parallelo .....

..... così gli elementi di un circuito elettrico possono essere collegati in parallelo

Il collegamento in parallelo è caratterizzato dal fatto che:
ai capi di tutti gli elementi collegati sussiste la medesima tensione mentre attraverso di ciascuno di essi si stabilisce una corrente che dipende dalle caratteristiche dell'elemento stesso.

La somma delle singole correnti sarà comunque uguale alla corrente erogata dal generatore.

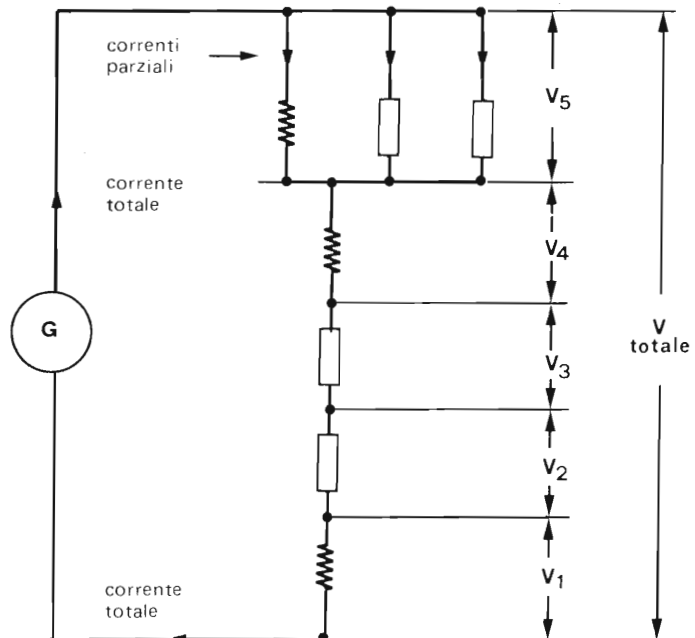
COLLEGAMENTO MISTO DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO

Può succedere che:

a) ad un gruppo di elementi in parallelo si colleghi in serie un gruppo di elementi in serie (v. figura)

b) ad un gruppo di elementi in parallelo si colleghi in serie un altro gruppo di elementi in parallelo.

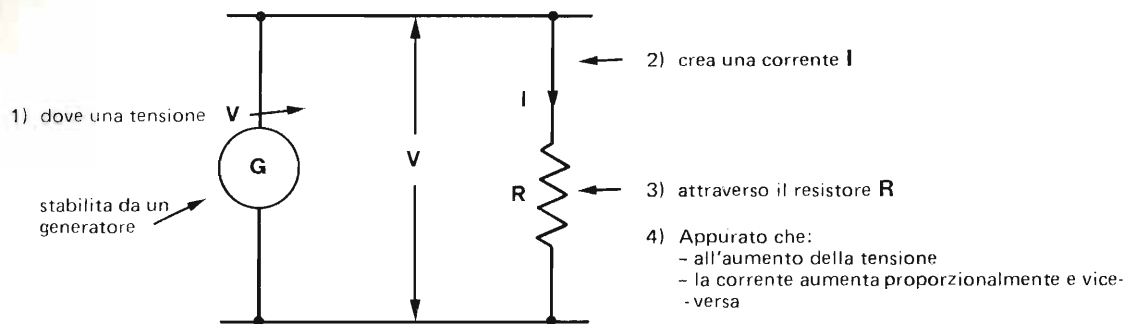
c) ad un gruppo di elementi in serie si colleghi in parallelo un altro gruppo di elementi in serie.

d) ecc.

Paragrafo 10.2

PARAMETRI PRINCIPALI

Indice degli argomenti principali

LEGGE DI OHM PER LE RESISTENZE

(A) Si abbia un circuito fatto così:

5) Si definisce la caratteristica del resistore e si chiama

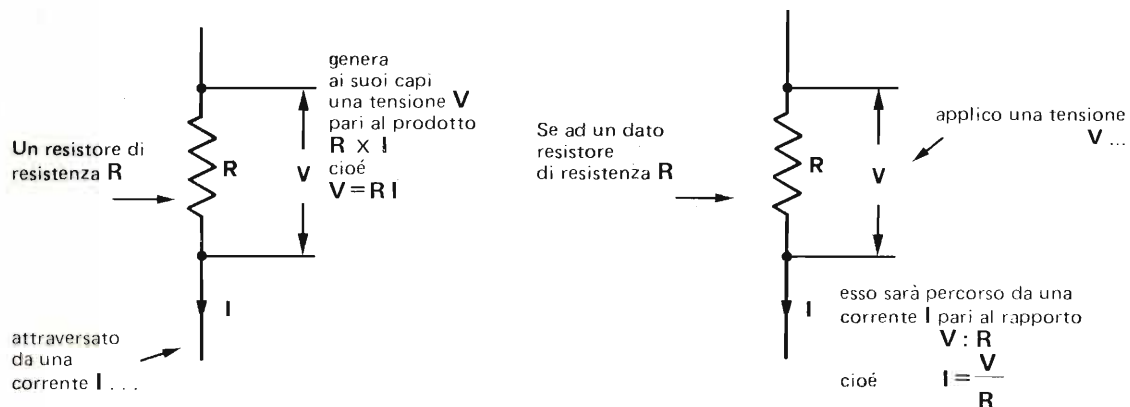
N.B. In un elemento ideale questo rapporto è costante per qualsiasi tensione venga applicata

RESISTENZA o IMPEDENZA (*)

il rapporto $R = \frac{V}{I}$ cioè: $\frac{\text{il valore di qualsiasi tensione applicata al resistore}}{\text{il valore della corrispondente corrente}}$ (diviso)

6) Questi dati si compendiano in una relazione che costituisce la

legge di ohm $V = I\,R$

(B) Altri aspetti del medesimo fenomeno:

ATTENZIONE! — Si usino sempre le stesse unità di misura, se si vuole calcolare correttamente le grandezze

(*) In questo caso i concetti di impedenza e resistenza si identificano.
Normalmente si usa solo il termine di **"resistenza"** quando si ha a che fare con correnti e tensioni costanti.
Il termine resistenza differisce da impedenza con correnti e tensioni variabili
Altrove vedremo il perché.

ESEMPI DI CALCOLO SULLA LEGGE DI OHM PER LE RESISTENZE

Riassumiamo qui, in attesa di parlarne più avanti in particolare, che

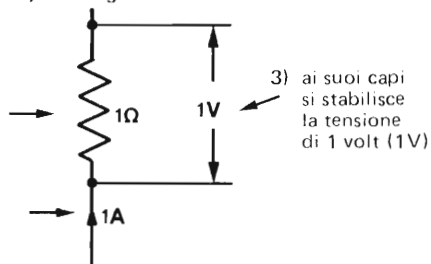
la tensione (V) si misura in volt (V)
la corrente (I) si misura in ampere (A)
la resistenza (R) si misura in ohm (Ω)

A) La relazione unitaria, cioè riferita alle unità di misura, per la legge di ohm, è la seguente:

1 volt = 1 ampere X 1 ohm

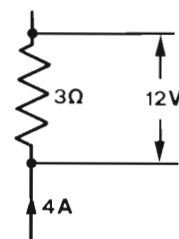
ciò significa che:

1) quando un resistore R del valore di 1 ohm (1Ω)

2) è attraversato dalla corrente I del valore di 1 ampere (1A)

B) Se lo stesso resistore di 1Ω è attraversato dalla corrente di 2A la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà si 2V perché:

2 ampere X 1 ohm = 2 volt

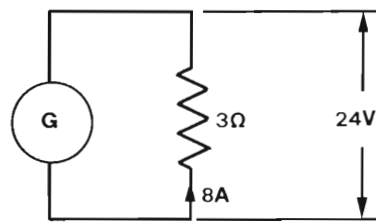
C) Se il resistore ha una resistenza di 3 Ω ed è attraversato da una corrente di 4A, la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di 12V perché:

4 ampere X 3 ohm = 12 volt

D) Si possono stabilire 12 volt con infinite combinazioni, ad esempio:

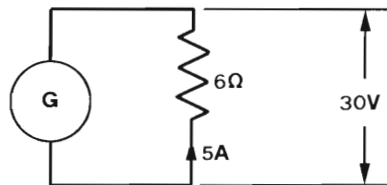
12 Ω con 1A	**1 Ω con 12A**	**1000 Ω con 12 mA**
4 Ω con 3A	**0,5 Ω con 24A**	**5000 Ω con 2,4 mA**
2 Ω con 6A	**0,1 Ω con 120A**	**ecc.**

E) Inversamente, se abbiamo a disposizione 24V e vogliamo creare una corrente di 8A dobbiamo collegare col generatore un resistore che abbia la resistenza di 3Ω perché:

$$\frac{\textbf{24 volt}}{\textbf{8 ampere}} \text{ (diviso) } = \textbf{3 ohm}$$

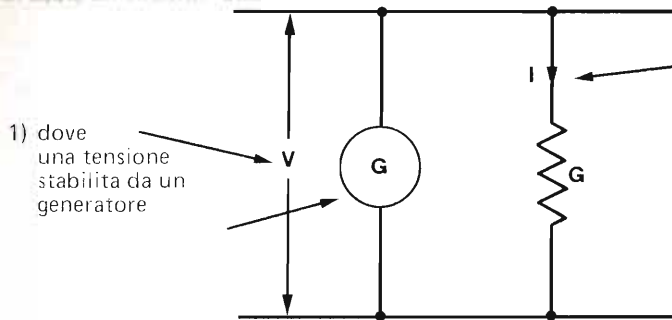
Infatti **8 ampere X 3 ohm = 24 volt**

F) Infine, se abbiamo a disposizione una tensione di 30V applicata ad una resistenza di 6 ohm, si produrrà una corrente di 5 ampere, perché:

$$\frac{\textbf{30 volt}}{\textbf{6 ohm}} \text{ (diviso) } = \textbf{5 ampere}$$

Infatti **6 ohm X 5 ampere = 30 volt**

G) Conclusione e attenzione: non sembri paradossale, ma in fondo tutta l'elettrotecnica e tutta la elettronica si fondano principalmente su questa semplice legge!

LEGGE DI OHM PER LE CONDUTTANZE

Avvertenza – Per mettere in evidenza le analogie si confronti questa pagina con la pagina 1

A) Si abbia un circuito fatto così:

2) crea una corrente I

3) attraverso il conduttore **G.**

4) Appurato che:
- all'aumentare della tensione la corrente aumenta proporzionalmente e viceversa.

5) Si definisce la caratteristica del conduttore e si chiama

CONDUTTANZA O AMMETTENZA (*)

N.B. In un elemento ideale questo rapporto è costante per qualsiasi corrente che l'attraversi.

il rapporto $G = \frac{I}{V}$ cioé $\frac{\text{il valore di qualsiasi corrente che attraversa il conduttore}}{\text{il valore della corrispondente tensione applicata}}$ (diviso)

6) Questi dati si compendiano in una relazione che costituisce la

Legge di Ohm per le conduttanze

$$I = V\ G$$

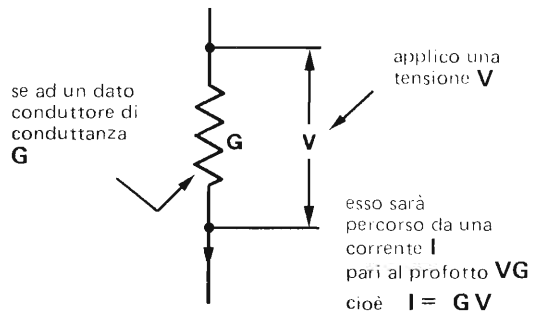
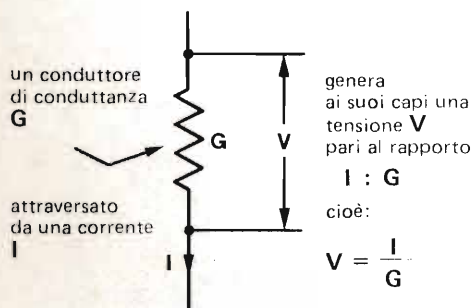
B) Altri aspetti del medesimo fenomeno

genera ai suoi capi una tensione **V** pari al rapporto

I : G

cioè: $V = \frac{I}{G}$

se ad un dato conduttore di conduttanza **G**

esso sarà percorso da una corrente **I** pari al profotto **VG** cioè $I = G V$

Attenzione – Si usino sempre le stesse unità di misura se si vuole calcolare correttamente le grandezze.

(*) N.B. – In questo caso i concetti di ammettenza e conduttanza si identificano

Normalmente si usa solo il termine di conduttanza quando si ha a che fare con correnti continue e tensioni costanti.

Il termine conduttanza differisce da ammettenza quando si ha a che fare con correnti e tensioni variabili

Altrove vedremo i motivi

ESEMPI DI CALCOLO SULLA LEGGE DI OHM PER LE CONDUTTANZE

Riassumiamo qui, in attesa di parlarne più avanti in particolare, che:

la tensione	(V)	si misura in volt.	(V)
la corrente	(I)	si misura in ampere	(A)
la conduttanza	(G)	si misura in siemens	(S)

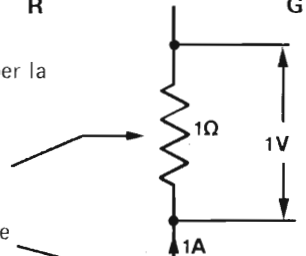
Importante: la conduttanza è l'inverso della resistenza e la resistenza è l'inverso della conduttanza.

Infatti: essendo $G = \frac{I}{V}$ ed essendo (vedi pag. 1) $R = \frac{V}{I}$

sostituendo un valore comune si ha $G = \frac{1}{R}$ e anche $R = \frac{1}{G}$

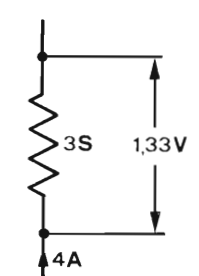
A) La relazione unitaria cioè riferita alle unità di misura per la legge di Ohm è la seguente:

1 ampere = 1 volt X 1 siemens

ciò significa che: 1) quando un conduttore **G** del valore di 1 siemens **(1S)**
2) è attraversato da una corrente **I** del valore di 1 ampere **(1A)**
3) ai suoi capi si stabilisce la tensione di 1 volt **(1V)**

B) Se lo stesso conduttore di **1S** è attraversato dalla corrente di **2A** la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di **2V** perchè:

2 ampere : 1 siemens = 2V

C) Se il conduttore ha una conduttanza **di 3S** ed è attraversato da una corrente di **4A** la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di **1,33V** perchè:

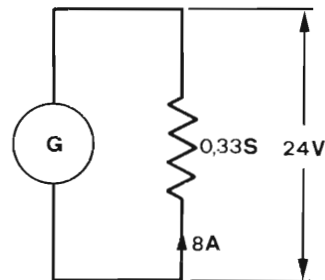
4 ampere : 3 siemens = 1,33V

D) Si possono stabilire **1,33V** con infinite combinazioni ad esempio:

6S con 8A	**1S con 1,33A**	**6 mS con 8mA**
12S con 16A	**0,5S con 0,66A**	**ecc.**

E) Inversamente se abbiamo a disposizione **24V** e vogliamo creare una corrente di **8A** dobbiamo collegare con il generatore un conduttore che abbia la conduttanza di **0,33S** perché:

$$\frac{\text{8 ampere}}{\text{24 volt}} \text{ (diviso)} = \text{0,33 siemens}$$

Infatti:

0,33 siemens x 24 volt = 8 ampere

IMPORTANTE

Si può notare dal corrispondente esercizio del foglio 10.21-2 che si tratta non solo degli stessi valori di tensione e di corrente, ma anche dello stesso resistore che

in quel caso è espresso come: **resistenza di 3Ω**
e in questo caso è espresso come: **conduttanza di 0.33S**

Infatti : $3\Omega = \frac{1}{3} S = 0{,}33S$

Paragrafo 10.3

FENOMENI ALTERNATI SINOIDALI

Indice degli argomenti e delle pagine

RAPPRESENTAZIONE GEOMETRICA DI GRANDEZZE ALTERNATE SINOIDALI

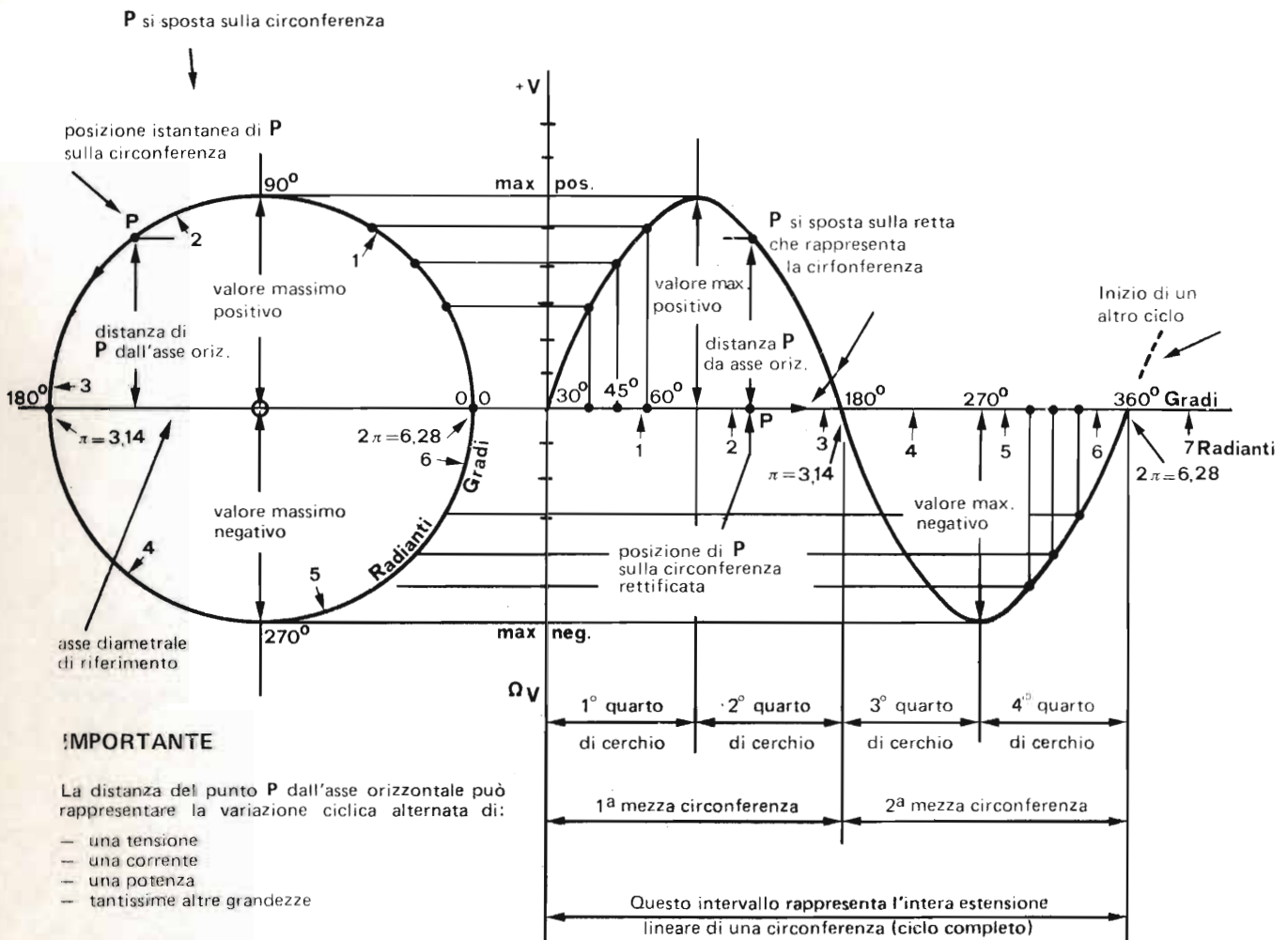
Fenomeni alternati sinusoidali sono principalmente quelli connessi alle:

- proiezioni di movimenti circolari
- oscillazioni libere di corpi elastici (molle, corde, ecc.)
- oscillazioni di masse gravitazionali vincolate (pendoli)
- oscillazioni libere di scambio di energia elettrica cinetica e potenziale (circuiti oscillanti)

RAPPRESENTAZIONE POLARE

I valori assunti da grandezze relative ai fenomeni alternati sinusoidali possono essere rappresentati dalla sequenza di distanze che un punto viaggiante su una circonferenza assume rispetto ad un asse diametrale preso come riferimento.

RAPPRESENTAZIONE CARTESIANA

Lo stesso fenomeno può essere rappresentato su assi cartesiani.
Come si vede, i due valori massimi (positivo e negativo) coincidono con il raggio della circonferenza generatrice e non possono essere superati.

IMPORTANTE

La distanza del punto P dall'asse orizzontale può rappresentare la variazione ciclica alternata di:

- una tensione
- una corrente
- una potenza
- tantissime altre grandezze

In questa rappresentazione grafica il fenomeno non dipende dal tempo, ma solo dalle posizioni riferite al ciclo.

Qui infatti non si parla nè di periodo nè di frequenza.

VETTORE AMPIEZZA FASE

Il punto che ruota sulla circonferenza di cui la pag. 1, assume ulteriori significati.

Cioè, invece di paralare della posizione del punto **P** sulla circonferenza ....

..... si può parlare di posizione angolare del vettore **V**

La lunghezza del vettore si chiama modulo ed è proporzionale all'ampiezza della grandezza che rappresenta.

Posizione angolare
- se il vettore resta fermo la posizione angolare è fissa
- se il vettore si muove la posizione angolare varia

90° $\frac{\pi}{2}$ — P — Vettore V — α — 180° π — C — Origine — 0 0 — 2π 360° — $3\frac{\pi}{2}$ — 270°

l'origine delle posizioni del punto **P** sulla circonferenza è questo punto **O** (punto di partenza)

L'origine delle posizioni angolari del vettore **V** è questa semiretta (semiretta di partenza)

centro di rotazione del vettore

Il vettore è caratterizzato da un'ampiezza rappresentata dalla lunghezza del raggio le cui estremità sono contrassegnate: da una freccia per la parte rotante
da un punto per la parte solidale al centro

SENSI DI ROTAZIONE

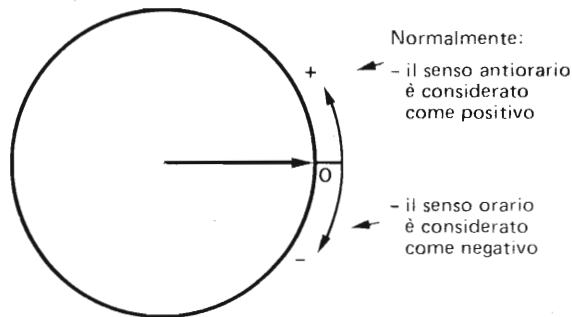
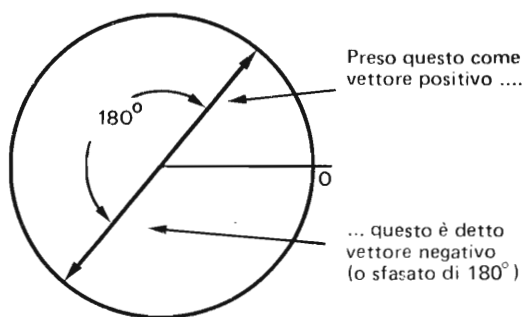
+ — O — −

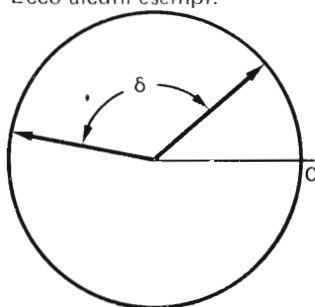
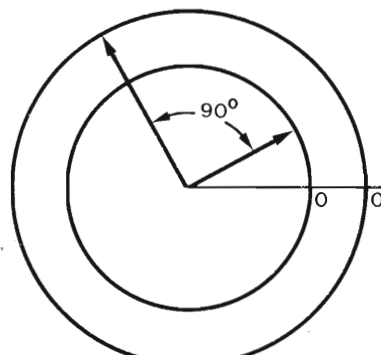
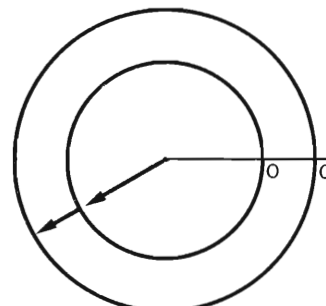
Normalmente:
- il senso antiorario è considerato come positivo
- il senso orario è considerato come negativo

DIREZIONI

180° — O

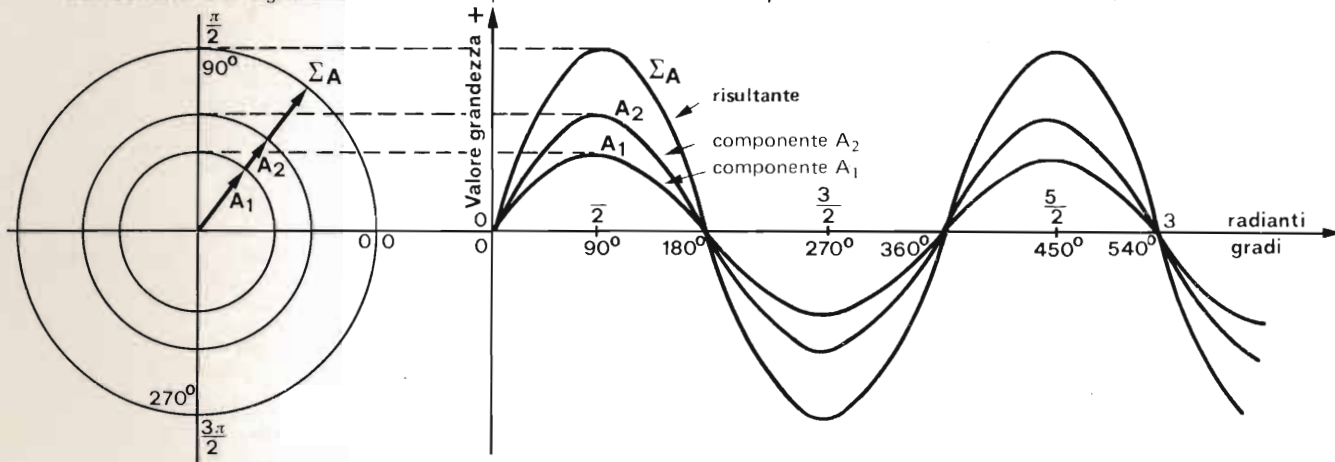
Preso questo come vettore positivo ....

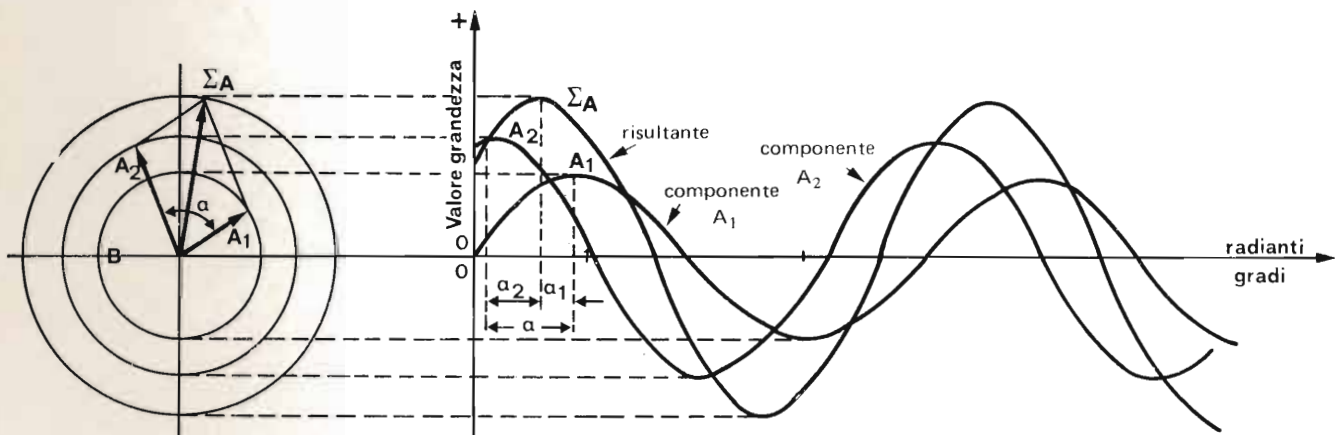
... questo è detto vettore negativo (o sfasato di 180°)

VETTORI SFASATI

Più vettori possono ruotare mantenendosi equidistanti fra loro. Si dice in questo caso che essi ruotano sfasati. Ecco alcuni esempi:

Due vettori di uguale ampiezza sfasati dell'angolo φ

Due vettori di differente ampiezza sfasati di 90° ($\varphi = 90°$)

Due vettori di differente ampiezza ruotanti in fase (sfasamento uguale a zero) ($\varphi = 0$)

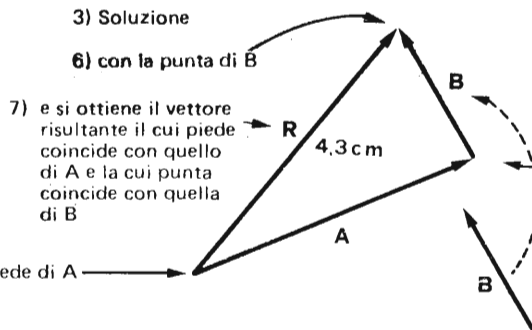
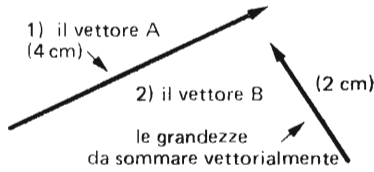
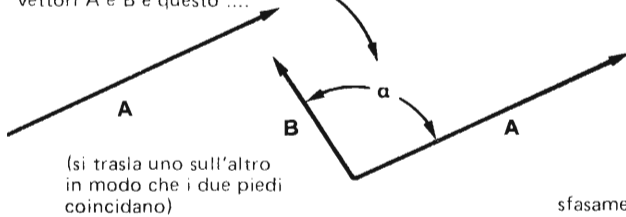
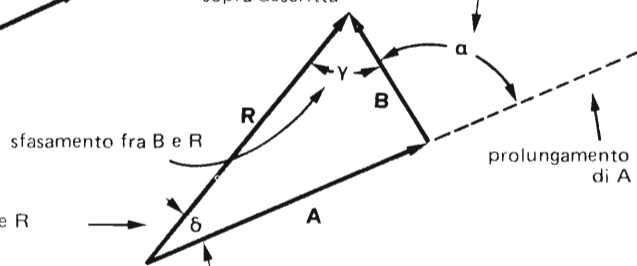
COMPOSIZIONE VETTORIALE E CARTESIANA DI GRANDEZZE ALTERNATE

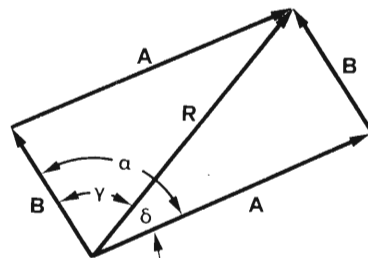
A) DUE GRANDEZZE RUOTANTI IN FASE

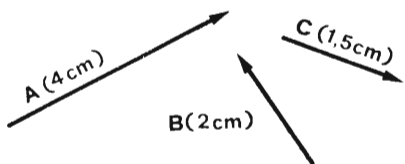
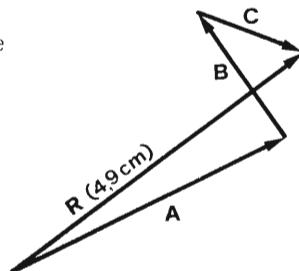
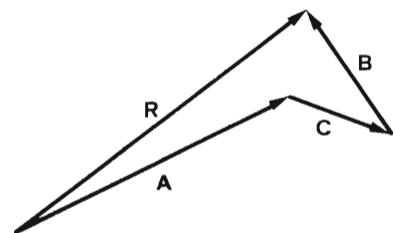
La risultante è una grandezza di modulo pari alla somma delle componenti ed è in fase con le stesse.

B) DUE GRANDEZZE RUOTANTI SFASATE SOLIDALMENTE IN UN ANGOLO α

La risultante è una grandezza che si compone vettorialmente come modulo e fase secondo la regola del parallelogrammo.

C) COMPOSIZIONE VETTORIALE DI DUE GRANDEZZE SFASATE (Regola del parallelogrammo)

UN MODO PIU' COMODO PER COMPORRE I VETTORI

A) DUE GRANDEZZE

Rivediamoli tutti insieme
. . . con i piedi uniti!

per dimostrare che questo nuovo modo di operare è altrettanto rigoroso quanto quello tradizionale del parallelogrammo.

B) TRE GRANDEZZE

Allo stesso modo siano date tre grandezze A,B,C, da sommare vettorialmente

Si effettua la traslazione mantenendo ogni vettore parallelo a se stesso

La composizione avviene con la stessa tecnica
La direzione della risultante è fra il piede del primo vettore e la punta dell'ultimo

Proprietà commutativa
il risultato non cambia modificando la sequenza dei componenti

C) N.B.;

Con la composizione grafica effettuata accuratamente, usando una buona riga millimetrata e un buon goniometro, si possono effettuare calcoli grafici più rapidamente e con la stessa precisione che si ottiene effettuando calcoli complicati con un regolo calcolatore.

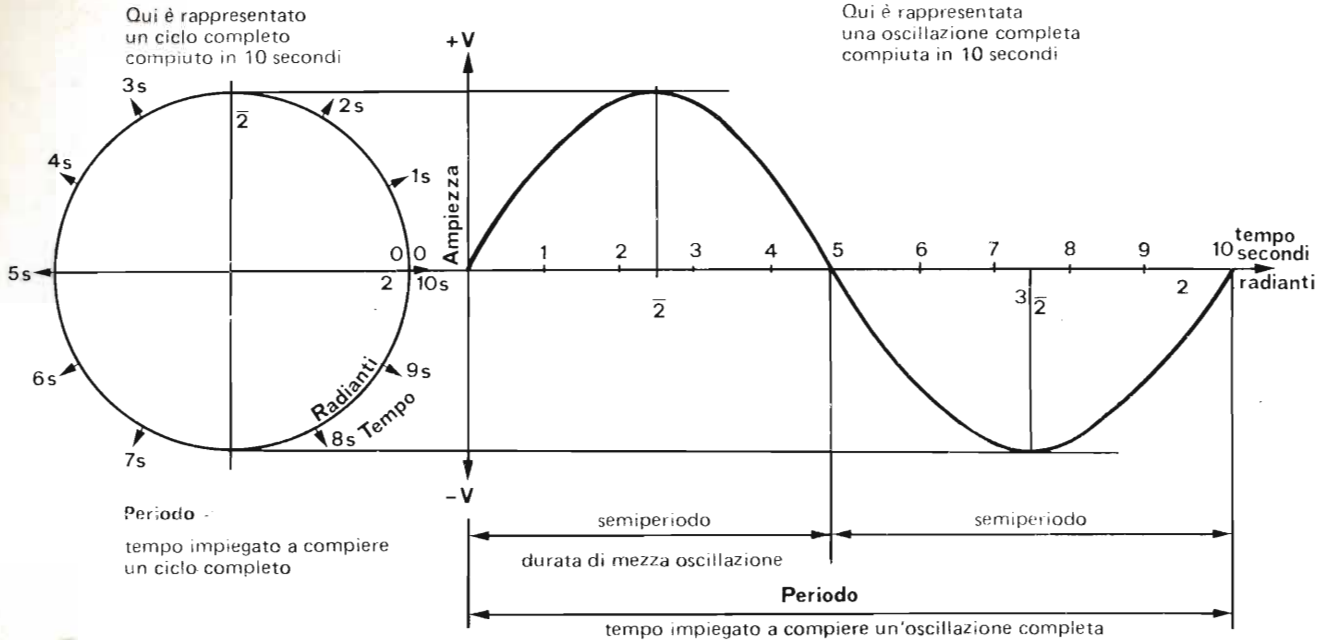
Paragrafo 10.4

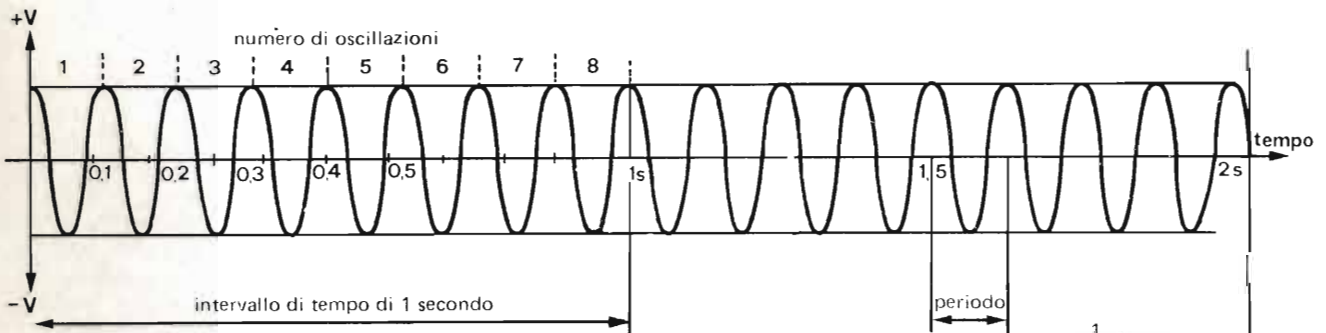
OSCILLAZIONI

Indice degli argomenti e delle pagine

FREQUENZA E PERIODO

Quando la rotazione del punto **P** sulla circonferenza o la rotazione angolare del vettore **V** si compiono in un determinato tempo subentrano i concetti di periodo e frequenza.

(v: 10.31-1)
(v: 10.31-2)

Quando cicli completi od oscillazioni complete si ripetono regolarmente nel tempo, si chiama **frequenza** il numero di cicli o di oscillazioni **che si compiono in un sec.**

Esempio

In questo caso si contano 8 cicli in 1 sec. perciò si **definisce** una frequenza di 8 cicli al secondo o anche 8 hertz

La durata di ciascuno di questi cicli è di $\frac{1}{8}$ di secondo perciò si dice che queste oscillazioni hanno un periodo di $\frac{1}{8}$ sec. o 0.125 sec.

RELAZIONI TRA FREQUENZA E PERIODO

Frequenza $f = \frac{1}{T}$ cicli al secondo o hertz (Hz) **Periodo** $T = \frac{1}{f}$ secondi

UNITA' DI MISURA

Per la **frequenza** (simbolo f) è:**hertz** (simbolo Hz) - frequenza in hertz = numero di cicli compiuti diviso il tempo (in secondi) impiegato a compierli

Per il **periodo** (simbolo T) è il minuto **secondo** (simbolo sec.):intatti si tratta del tempo impiegato a compiere un ciclo;

PULSAZIONE

In elettrotecnica spesso è importante tener conto non del numero dei cicli alternativi che si compiono in un secondo, ma del **numero** di **radianti** che si percorrono in un secondo.

Questa grandezza si chiama **pulsazione** (simbolo ω) e si misura in radianti al secondo (rad/sec.).

FREQUENZA E PULSAZIONE

Poiché in un ciclo ci sono 2π radianti (6,28 radianti) ed essendo la frequenza espressa in cicli/sec., la relazione che lega la frequenza alla pulsazione sarà la seguente:

pulsazione (in rad/sec.) ⟶ $\omega = 2\pi f$ ⟵ frequenza (in cicli/sec. o Hz); radianti in un ciclo (= 6,28)

e viceversa $f = \dfrac{\omega}{2\pi}$

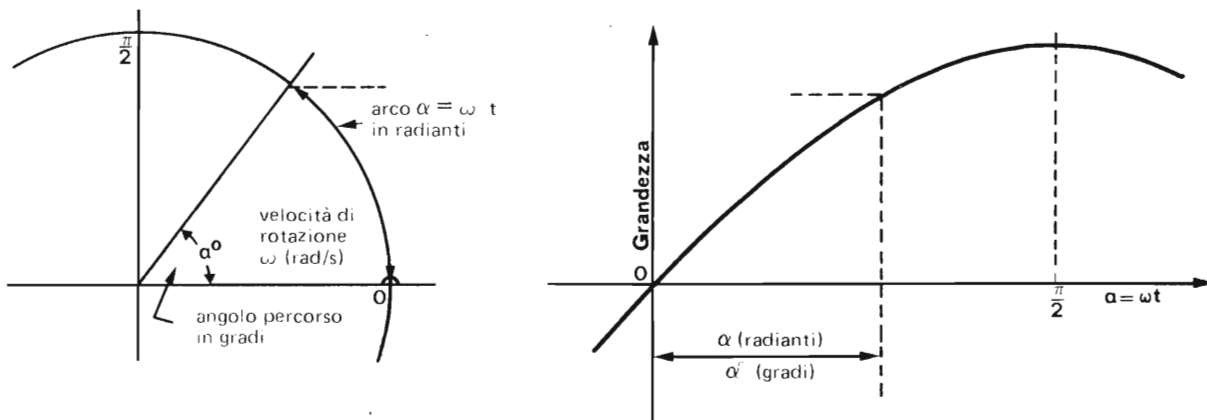
PERIODO E PULSAZIONE

Poiché la frequenza $f = \dfrac{1}{T}$ è l'inverso del periodo di tempo (in sec.) che occorre per compiere una oscillazione, la relazione che lega il periodo alla **pulsazione** sarà la seguente:

pulsazione (in rad/sec.) ⟶ $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ ⟵ radianti in un ciclo (= 6.28); periodo (in sec.) di un ciclo

e viceversa $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$

ARCO (ANGOLO) PERCORSO DOPO UN DETERMINATO TEMPO

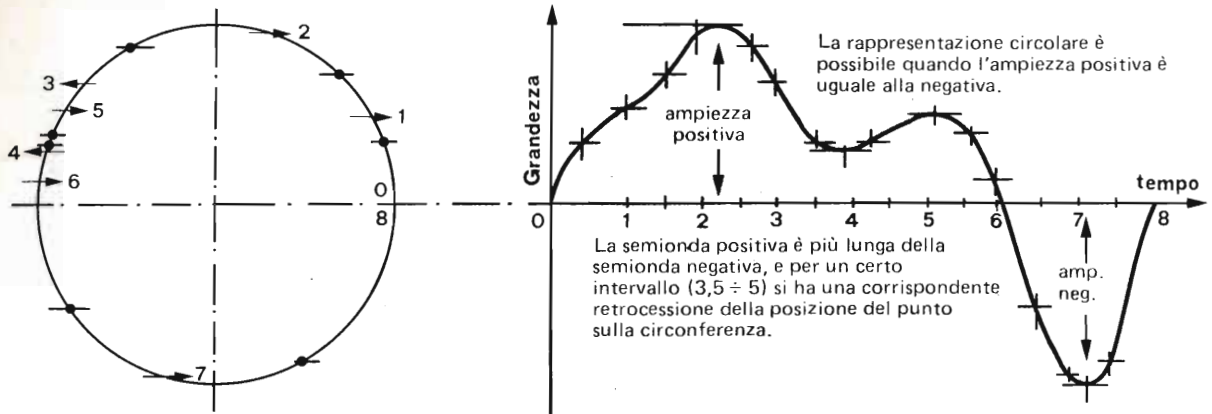
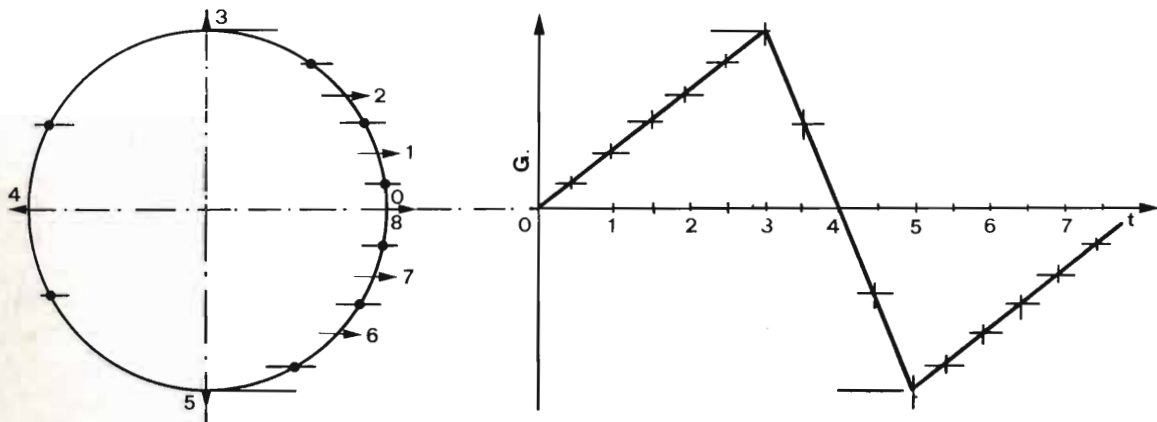
Quando si vuole tener conto della situazione istantanea dei valori che una determinata grandezza oscillante assume dopo un certo tempo t, basterà moltiplicare la pulsazione ω (che è una velocità di rotazione in rad/s) per il tempo t intercorso dall'inizio del fenomeno e avremo calcolato l'arco α (in radianti) percorso in questo intervallo di tempo.

ARCO (IN RADIANTI) E ANGOLO (IN GRADI)

Data la proporzionalità fra queste due grandezze $1\ \text{rad} = \dfrac{360^\circ}{2\pi}$

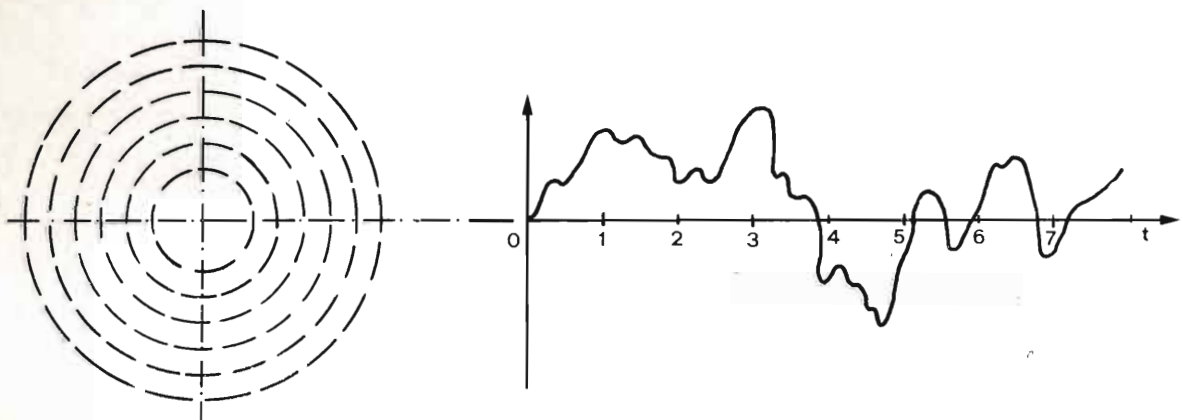
si ha $\alpha^\circ = \alpha^{rad}\dfrac{360^\circ}{2\pi}$ e $\alpha^{rad} = \alpha^\circ\dfrac{2\pi}{360}$

OSCILLAZIONI DOVUTE A MOTO NON UNIFORME SULLA CIRCONFERENZA

A) Abbiamo visto al 10.40-1 il ciclo rappresentato dal movimento uniforme di un punto sulla circonferenza e la sua rappresentazione grafica.

Qui sotto vediamo invece la rappresentazione grafica di un punto che si muove con velocità irregolare sulla circonferenza sopra la quale sono stati segnati anche i tempi di passaggio.

B) Un'altra forma grafica e relativa disposizione dei tempi di passaggio.

Ad incremento lineare della grandezza non corrisponde incremento lineare della posizione del punto sulla circonferenza.

C) Il caso più generale prevede che non solo la velocità, ma anche l'ampiezza vari col tempo.

La sua rappresentazione circolare o cartesiana è alquanto laboriosa e di nessuna utilità pratica.
Vedremo altre tecniche di rappresentazione.

GRANDEZZE APERIODICHE - VALORE MEDIO

Una grandezza alternata, rappresentata in diagramma cartesiano temporale, può:

- non avere forma geometrica o trignometrica definita
- non ripetersi ciclicamente

In questo caso si dice che la grandezza è **aperiodica**.

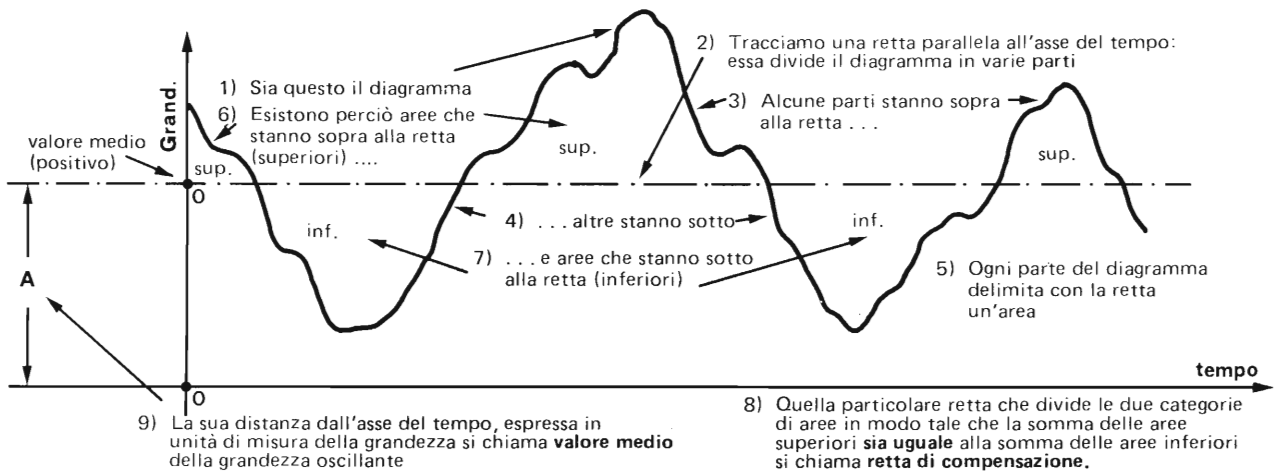
Essa può variare attorno ad un valore fisso che si chiama **valore medio**.

Esempio. La tensione prodotta da:

- un microfono sollecitato da suoni di un'orchestra o dalla voce, oppure da
- un rivelatore fonografico sollecitato dal movimento del solco di un disco ecc. ha un andamento capriccioso attorno ad un valore medio qualsiasi che dipende dalle caratteristiche del dispositivo e che può essere anche uguale a zero.

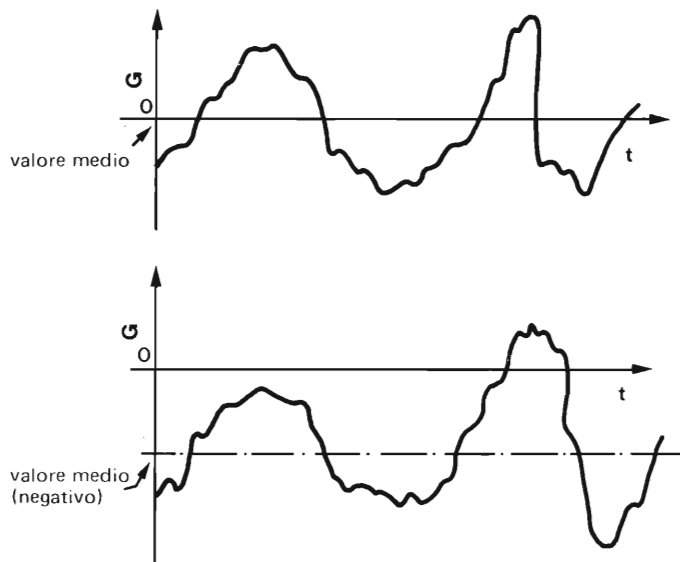
Avendo a disposizione un diagramma qualsiasi, si può sempre determinare graficamente il valore medio con sufficiente approssimazione. Infatti:

9) La sua distanza dall'asse del tempo, espressa in unità di misura della grandezza si chiama **valore medio** della grandezza oscillante

8) Quella particolare retta che divide le due categorie di aree in modo tale che la somma delle aree superiori **sia uguale** alla somma delle aree inferiori si chiama **retta di compensazione.**

Ovviamente la precisione con la quale si determina il valore medio è tanto maggiore quanto maggior quantità di aree o di alternanze si prendono in considerazione.

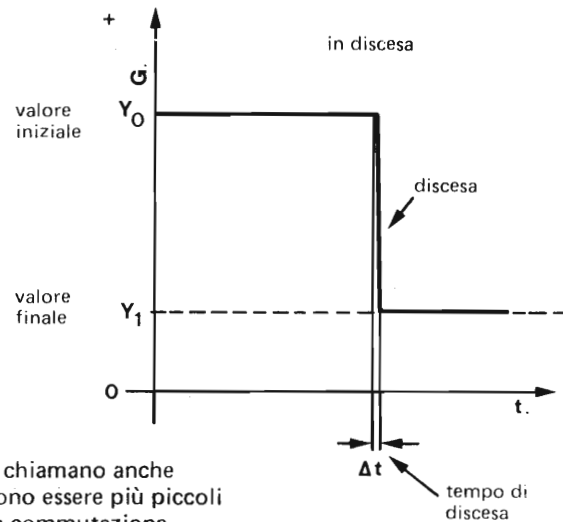
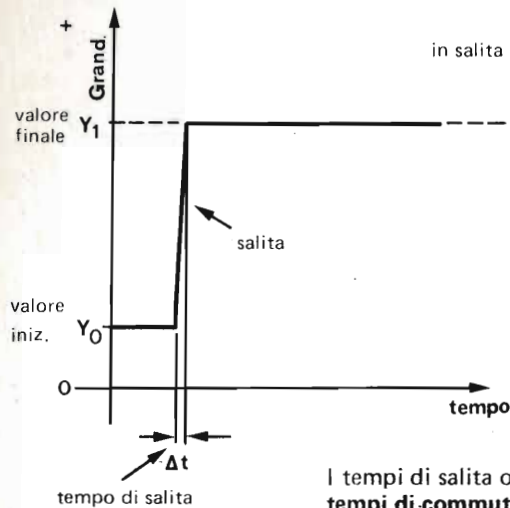
Ci sono semplici circuiti mediante i quali è possibile determinare e sfruttare il valore medio di una grandezza. Veda il lettore la sezione appropriata della trattazione.

Se il valore medio è uguale a zero la grandezza si dice semplicemente **alternata.**

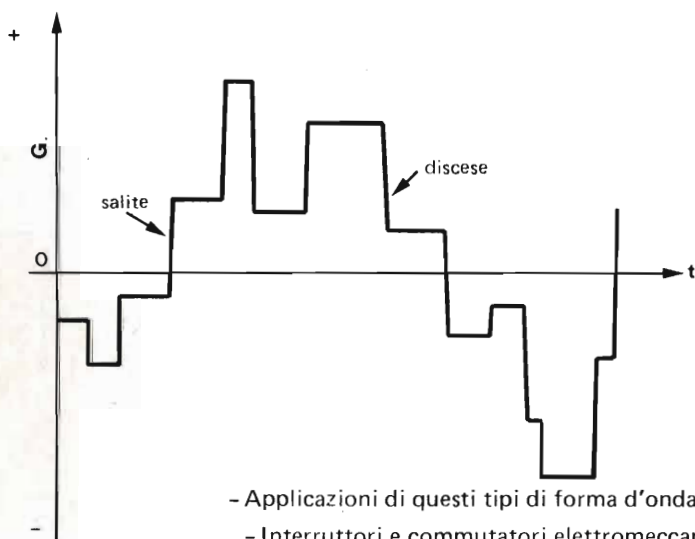
Se il valore medio è diverso da zero la grandezza si dice **alternata unidlrezionale oppure**
alternata polarizzata
positiva o negativa a seconda del segno del valore medio.

FORMA D'ONDA A GRADINO

Si ha quando da un valore si passa istantaneamente (o quasi) ad un altro valore.

Si ricorda che anche gli elettroni hanno una inerzia (induttanza del circuito) per cui è impensabile una reale istantaneità del fenomeno.

Esempio A — Gradino singolo (per valori positivi)

I tempi di salita o di discesa si chiamano anche **tempi di commutazione** e devono essere più piccoli possibile se si vuole una rapida commutazione.

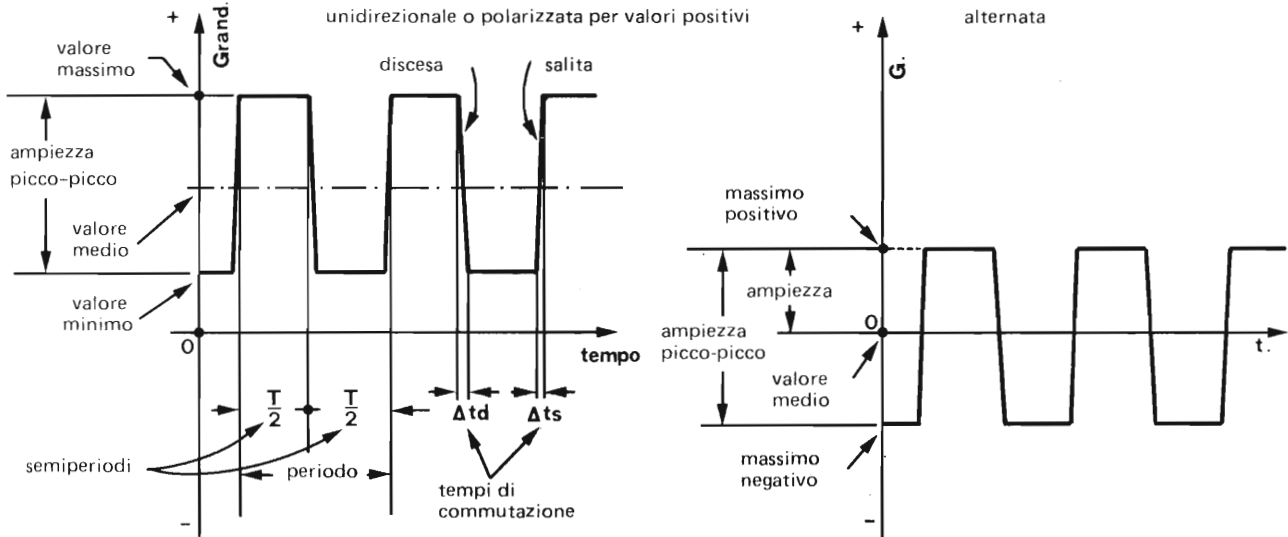
Nei calcolatori i tempi di commutazione sono dell'ordine di nanosecondi (ns) cioé 10^{-9} secondi o miliardesimi di secondo.

Esempio B — A gradini successivi (e per valori positivi e negativi)

- Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in:
  - Interruttori e commutatori elettromeccanici
  - Telecomunicazioni codificate
  - Telecomandi
  - Televisione
  - Calcolatori digitali o logici

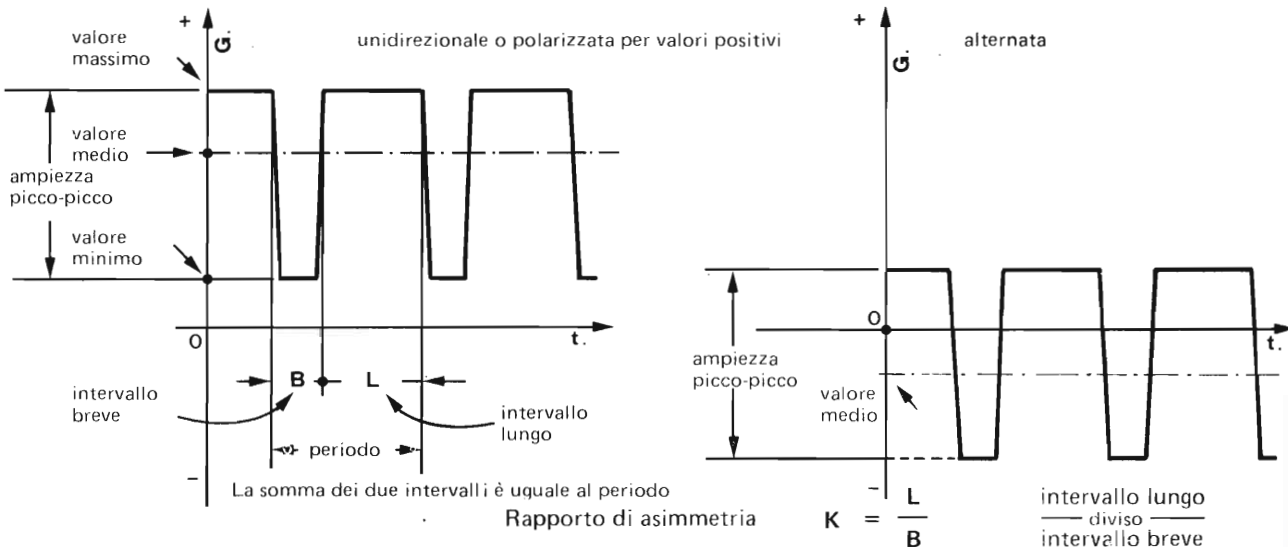
FORMA D'ONDA RETTANGOLARE

E' l'estensione periodica della forma d'onda a gradino (vedi pag. 1) ed è caratterizzata dalla costanza della ampiezza e del valore medio.

A causa dell'impossibilità di ottenere commutazioni istantanee (tempi di valore nullo), in realtà queste forme d'onda risultano trapezoidali.

Esempio A - Simmetrica (Quadra)

Nelle tecniche di commutazione ad alta velocità i tempi di commutazione sono dell'ordine di nanosecondi (ns) cioé 10^{-9} secondi (miliardesimi di secondo)

Esempio B - Asimmetrica (attenzione alla retta **"valore medio"**: essa non è sulla mezzaria del **"picco-picco"**.

Rapporto di asimmetria $K = \frac{L}{B}$ — intervallo lungo diviso intervallo breve

Esempio C - Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in:

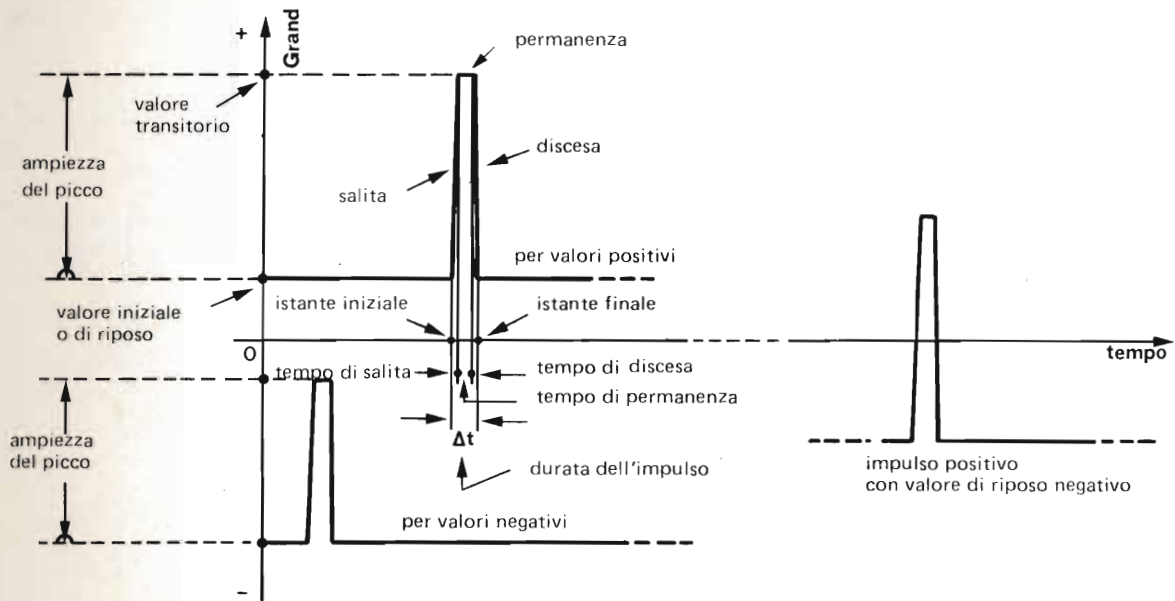
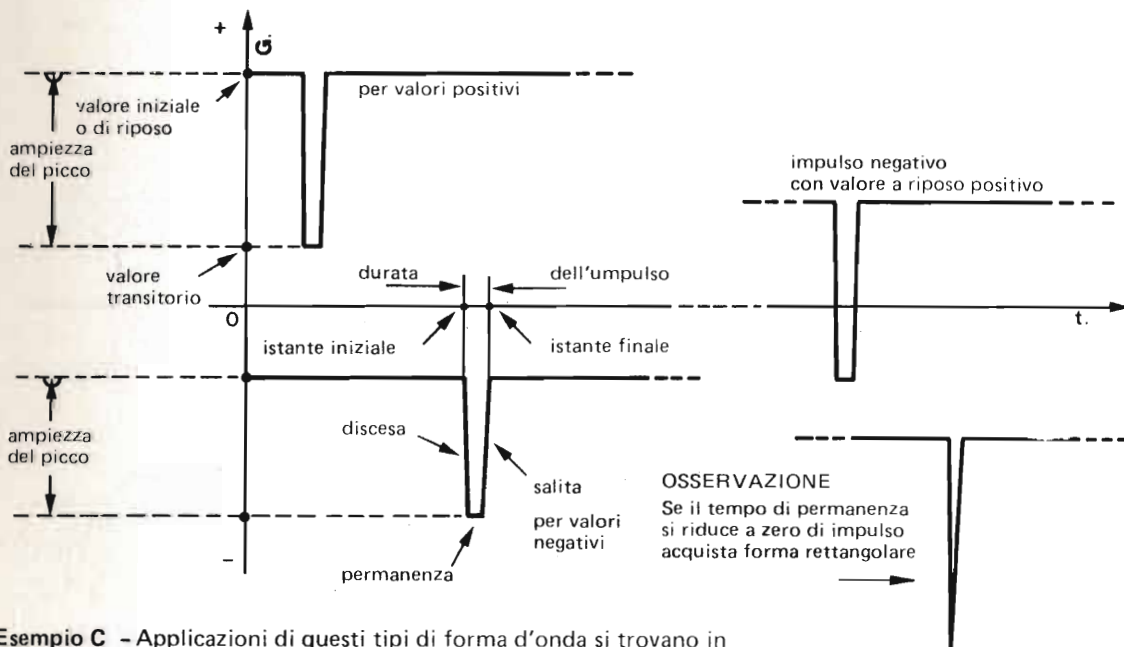
- Calcolatori digitali o logici
- Analizzatori di risposta in frequenza degli amplificatori
- Multivibratori.

FORMA D'ONDA A IMPULSO

È un caso particolare di forma d'onda rettangolare (vedi 10.43 pag. 2) aperiodico dove la grandezza (tensione, corrente, ecc.) cambia di valore e si riporta al valore iniziale (o di riposo) durante un intervallo di tempo **brevissimo.**

Si può parlare anche di impulsi periodici quando un'onda rettangolare è molto asimmetrica.

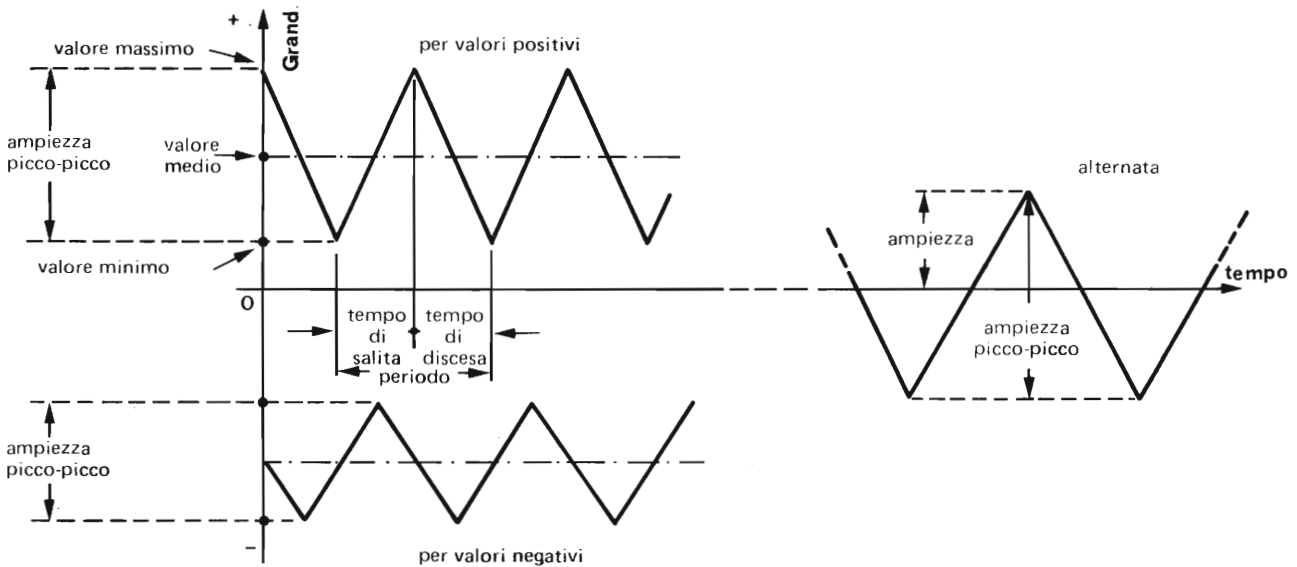
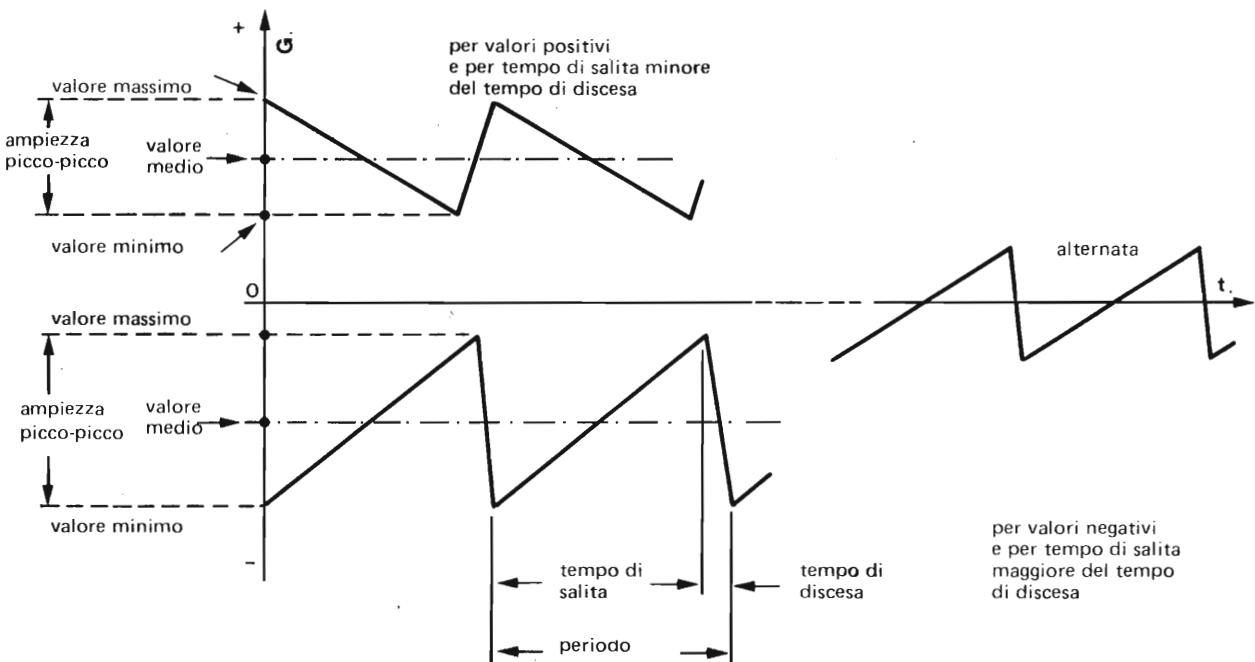
In questo caso comunque il valore medio è così prossimo al valore di riposo che praticamente ne coincide

Esempio A - Impulsi positivi: cioè l'impulso è un addendo positivo ad un valore qualsiasi di riposo

Esempio B - Impulsi negativi: cioè l'impulso è un addendo negativo ad un valore qualsiasi di riposo.

Esempio C - Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in

- Comandi di dispositivi a scarica
- Radar
- Televisione
- Calcolatori digitali o **logici**

FORMA D'ONDA TRIANGOLARE

Può essere considerata come un caso particolare di forma d'onda periodica a gradino (vedi 10.43), dove le fasi di salita e discesa assumono importanza particolare.

Esempio A - Simmetrica: (i tempi di salita e di discesa sono uguali)

Esempio B - Asimmetrica: o "a dente di sega": (i tempi di salita e di discesa sono disuguali)

Esempio C - Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in:

- Simulazione lineare del tempo mediante grandezze elettriche (oscilloscopi, radar, ecc.)
- Televisione
- Calcolatori analogici

FORMA D'ONDA SINOIDALE (sinusoidale)

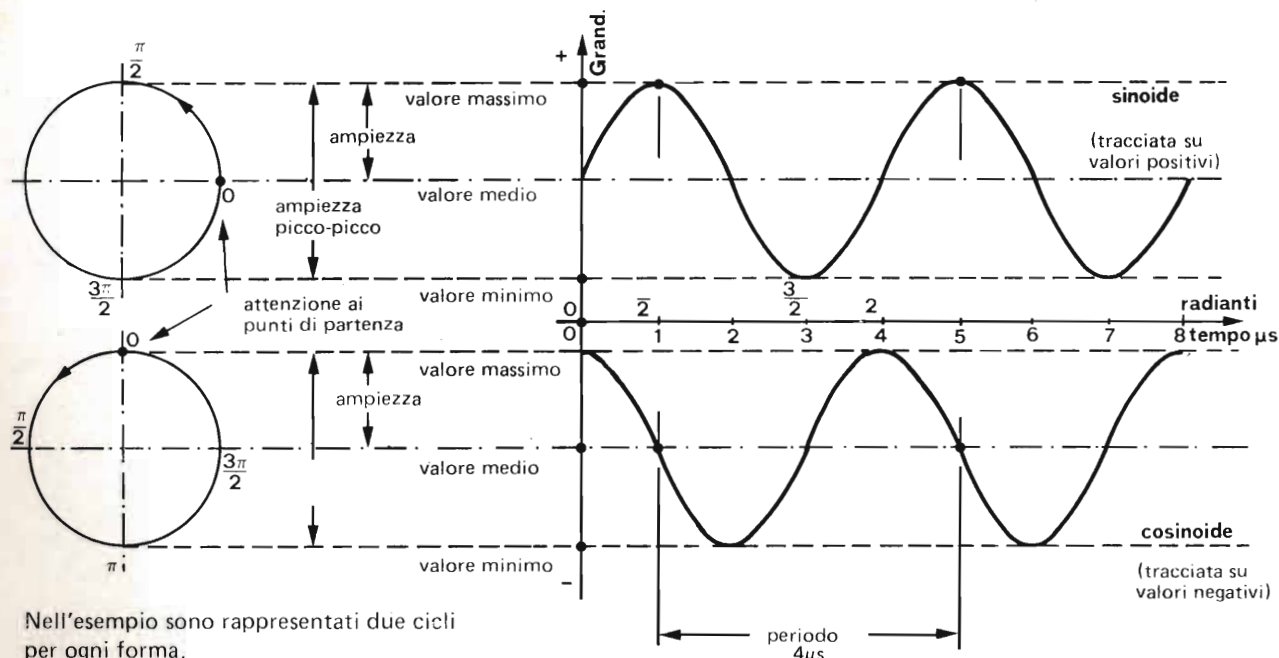
E' la regina di tutte le forme d'onda perché tutte le altre forme si possono ricondurre ad una opportuna combinazione di vari tipi di essa – vedi par. 10.5 (Teorema di Fourier).

Come descritto nel foglio 10.41 e in altri citati nello stesso, essa corrisponde alla successione di valori della distanza di un punto che percorre una circonferenza da un diametro preso come riferimento in funzione dello spostamento del punto stesso.

Questa distanza, funzione dell'arco percorso, corrisponde alla funzione trigonometrica del **"seno"** se la rotazione la si fa partire dalla posizione del numero 3 di un orologio; o alla funzione di trigonometrica complementare del **"coseno"** se la rotazione la si fa partire dalla posizione del numero 12 di un orologio.

Da cui le forme prendono il nome:

sinusoide o, meglio e più brevemente, **sinoide**
cosinusoide o, meglio e più brevemente, **cosinoide**

Se il punto ruota con moto uniforme, la sua posizione sulla circonferenza si identifica con il tempo essendo la lunghezza di arco percorso proporzionale al trascorrere del tempo stesso.

Nell'esempio sono rappresentati due cicli per ogni forma,

Le due forme d'onda sono essenzialmente identiche, ma sfasate di $\frac{\pi}{2}$ radianti (90°) e perciò in ogni caso si parlerà sempre di sinoide.

A titolo di esercizio e per fissare le idee espresse nel foglio 10.41, per le due forme d'onda rappresentate in questo foglio, essendo la scala del tempo dei diagrammi espressa in μs (microsecondi) si ha:

periodo $= 4\ \mu s$ **cioè** $4 \cdot 10^{-6}$ **secondi oppure 4 microsecondi**

frequenza $= \frac{1}{4 \cdot 10^{-6}} = 0.25 \cdot 10^{-6}$ **Hz cioè 250.000 Hz oppure 0.25 MHz o 250 kHz**

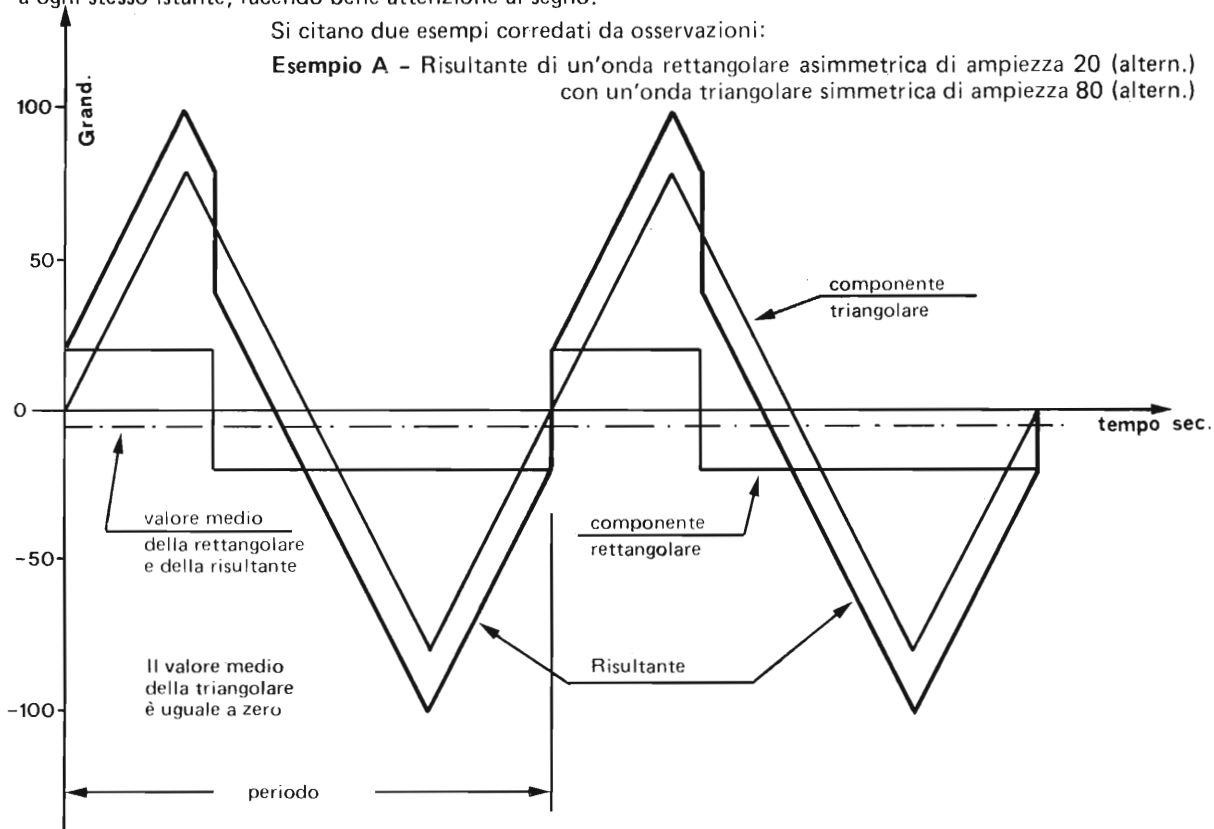
Le applicazioni di questi tipi di forma d'onda sono innumerevoli e citiamo solo quelle più comuni:

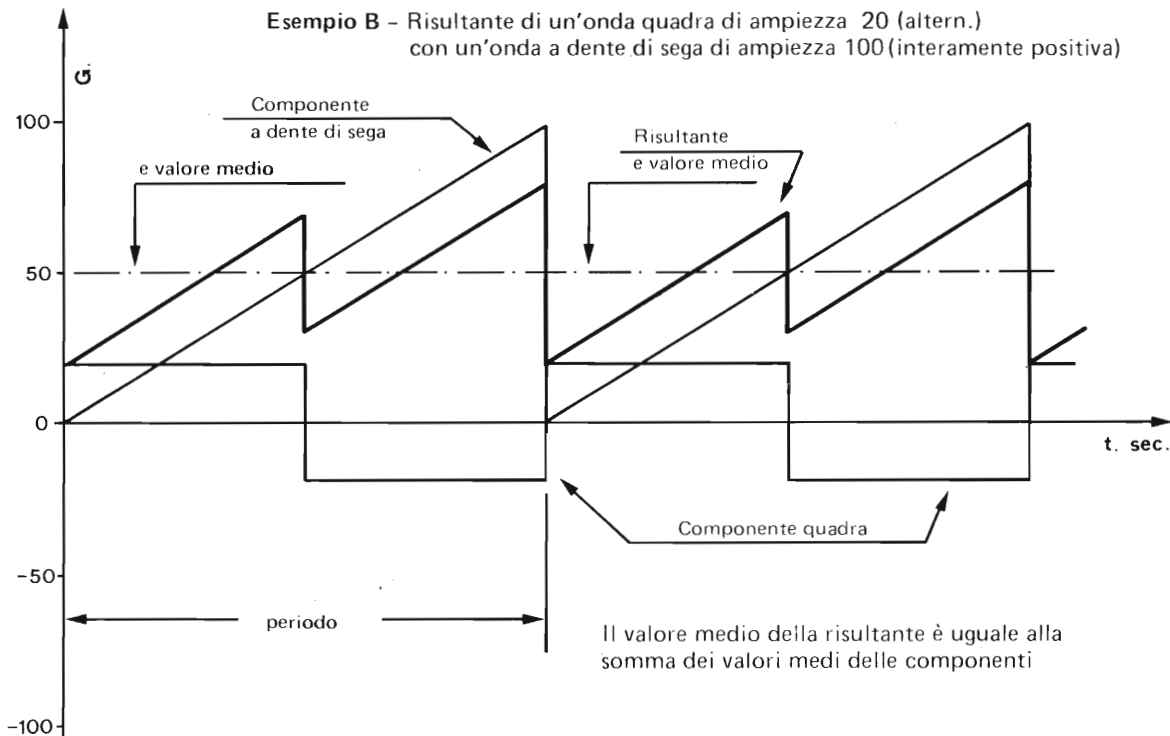
- Generatori di segnali puri di riferimento ed analizzatori
- Trasmettitori e ricevitori radio-televisione
- Generatori di energia elettrica industriale e domestica
- Radiazioni di tutti i tipi: dal suono, al calore, alla luce fino ai raggi cosmici

COMPOSIZIONE DI GRANDEZZE NON SINOIDALI, AVENTI LO STESSO PERIODO

La composizione avviene tenendo conto dei valori, istante per istante, e sommando fra loro quelli relativi a ogni stesso istante, facendo bene attenzione al segno.

Si citano due esempi corredati da osservazioni:

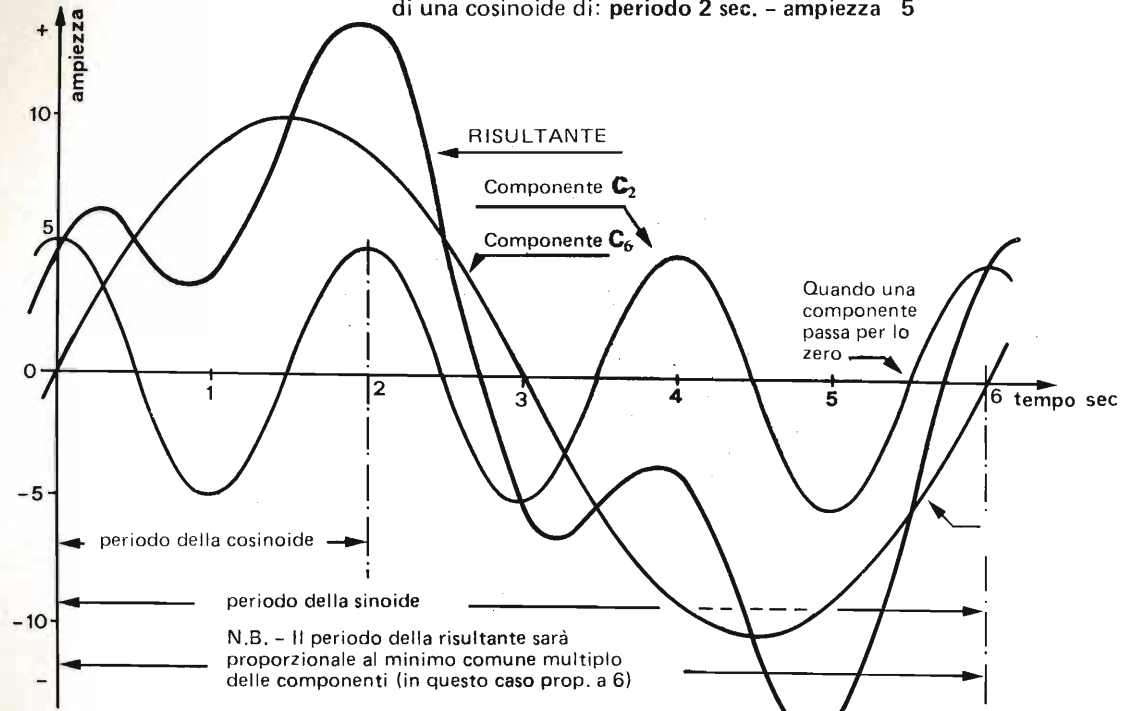
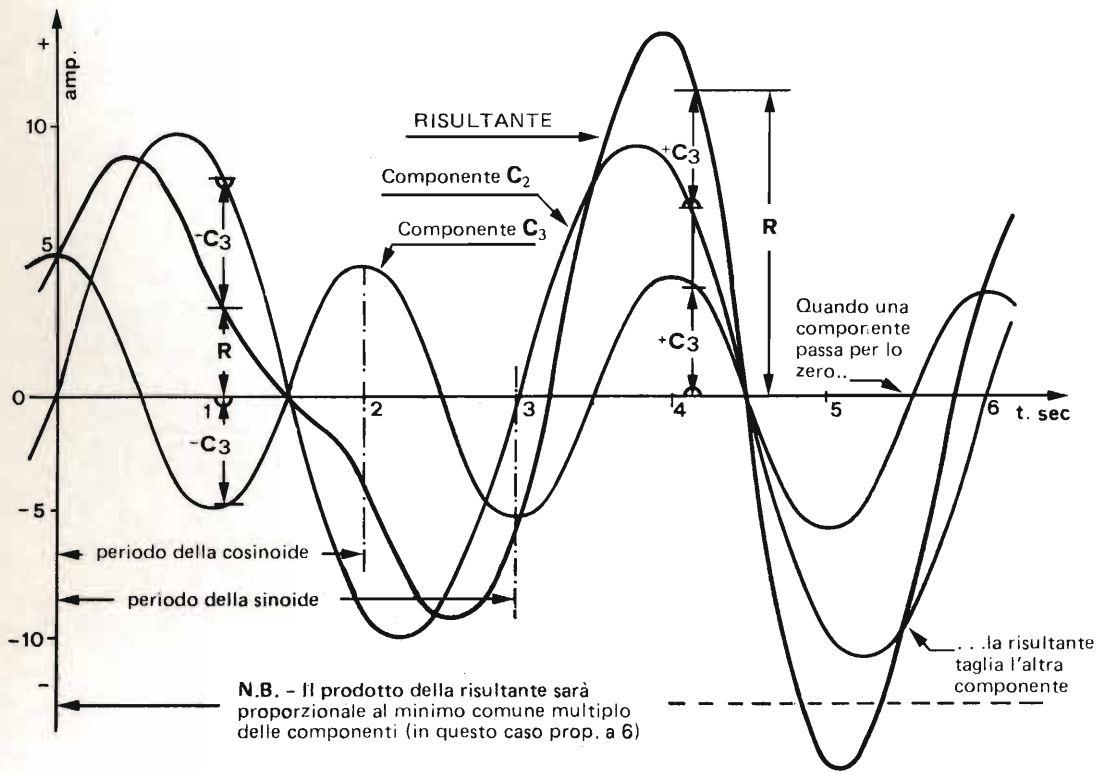
Esempio A – Risultante di un'onda rettangolare asimmetrica di ampiezza 20 (altern.) con un'onda triangolare simmetrica di ampiezza 80 (altern.)

Esempio B – Risultante di un'onda quadra di ampiezza 20 (altern.) con un'onda a dente di sega di ampiezza 100 (interamente positiva)

Il valore medio della risultante è uguale alla somma dei valori medi delle componenti

N.B. – Per la composizione di grandezze sinoidali di uguale frequenza vedi par. 10.3

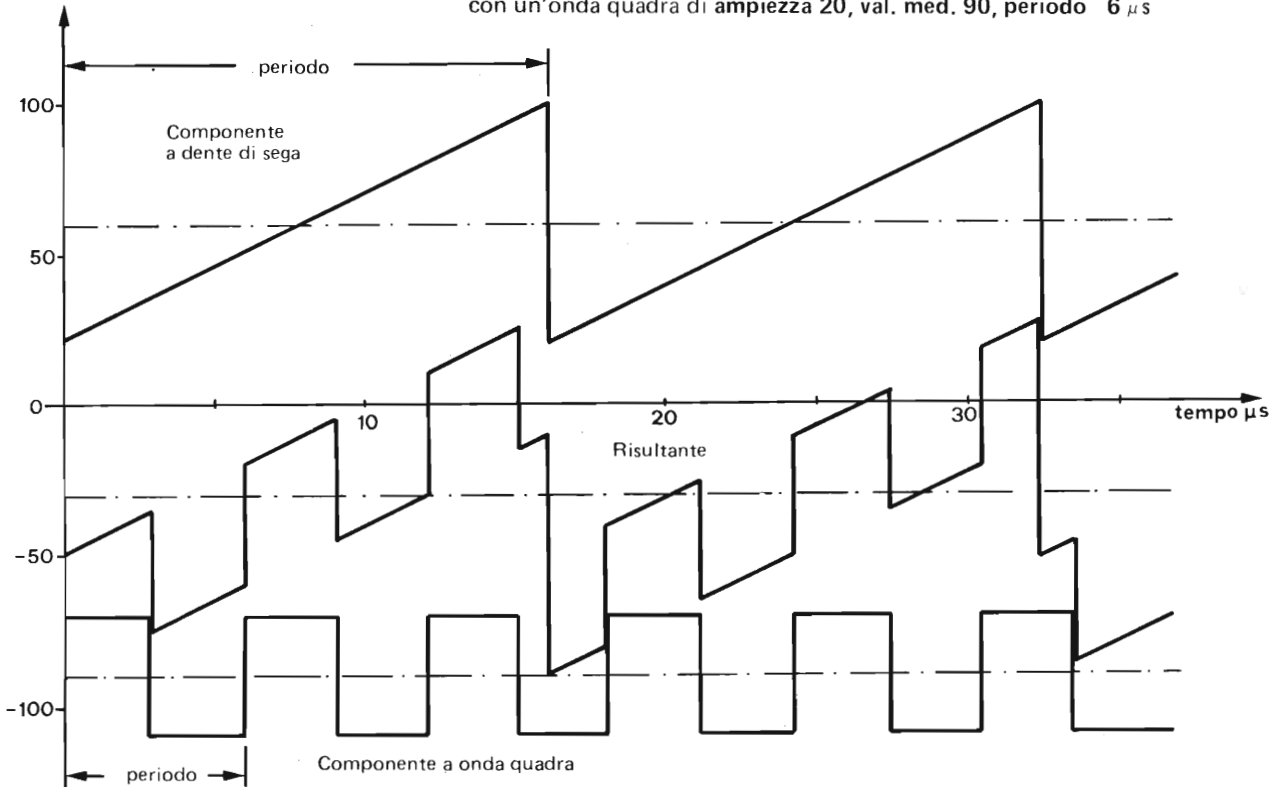
COMPOSIZIONE DI GRANDEZZE SINOIDALI DI FREQUENZA E AMPIEZZE DIVERSE

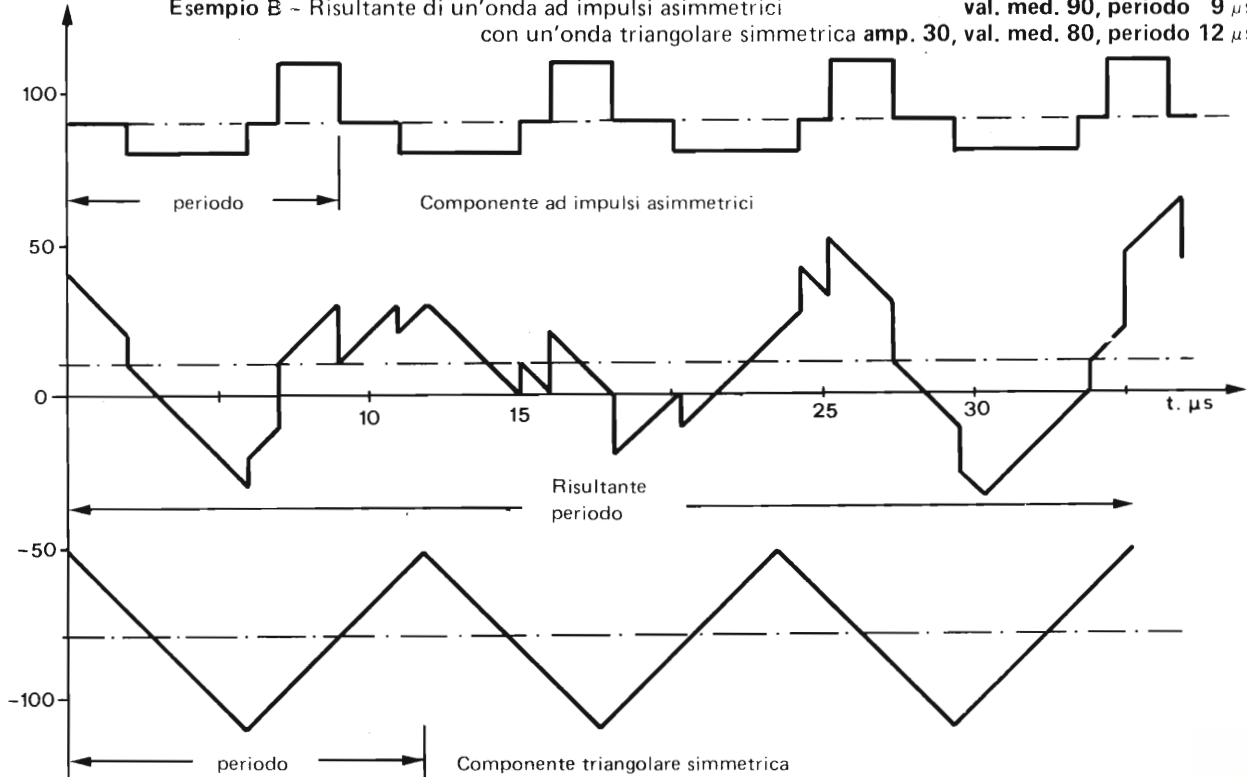
La composizione avviene tenendo conto dei valori, istante per istante, e sommandoli fra di loro, facendo bene attenzione al segno.

Si citano due esempi corredati di osservazioni e di un'importante nota,

Esempio A – Risultante di una sinoide di: **periodo 6 sec.** – **ampiezza 10**
di una cosinoide di: **periodo 2 sec.** – **ampiezza 5**

Esempio B – Risultante di una sinoide di: **periodo 2** sec. – a

COMPOSIZIONE DI GRANDEZZE NON SINOIDALI QUALSIASI

Abituiamoci ad usare un sottomultiplo del minuto secondo molto usato in elettronica: **il microsecondo** (μs)
Nei diagrammi che seguono in ascissa 1 microsecondo è rappresentato da 4 mm.

Esempio A – Risultante di un onda a dente di sega di **ampiezza 40, val. med. 60, periodo 16** μs con un'onda quadra di **ampiezza 20, val. med. 90, periodo 6** μs

La risultante ha un periodo di **48** μs, corrispondente a **3 cicli a dente di sega** e **8 cicli quadri.**

Esempio B – Risultante di un'onda ad impulsi asimmetrici **val. med. 90, periodo 9** μs con un'onda triangolare simmetrica **amp. 30, val. med. 80, periodo 12** μs

La risultante ha un periodo di **36** μs, corrispondente a **4 cicli ad impulsi** e **3 cicli triangolari.**

Paragrafo 10.5

ANALISI DELLE OSCILLAZIONI

Indice degli argomenti e delle pagine

PREMESSA STORICA SU FOURIER

Al paragrafo 10.4 si sono esaminate le forme d'onda più comuni nelle applicazioni elettroniche.

La grande scoperta di J.B.J. Fourier consiste nell'aver stabilito una relazione fra una forma d'onda qualsiasi, purché periodica e matematicamente determinabile, e la forma sinoidale.

E' interessante constatare che Jean Baptiste Joseph Fourier visse in Francia fra il 1768 e il 1830, quando cioé l'elettronica era di là da venire e l'elettrotecnica stava buttando i primi passi con Luigi Galvani (1737-1798) e Alessandro Volta (1745-1827).

A quei tempi la sua scoperta non poteva che avere un valore puramente matematico applicabile solo nei campi della fisica allora conosciuti.

Non è raro il caso in cui l'elettronica sia stata preceduta da oltre un secolo da scoperte appartenenti al campo della matematica pura.

Quando l'elettronica nacque trovò il terreno già preparato per svilupparsi nel modo esplosivo al quale noi stiamo assistendo.

Analisi delle oscillazioni e teorema di Fourier

Fourier poté dunque stabilire che:

una forma d'onda qualasiasi
(purché periodica e matematicamente determinabile)
può essere scomposta in
una serie infinita di onde sinoidali
ciascuna di frequenza multipla di quella forma d'onda e di ampiezza via via decrescente con l'aumentare della frequenza, secondo una legge matematica precisa.
(non troppo facilmente determinabile per un principiante!).

SIGNIFICATO PRATICO

Un significato pratico di questa legge consiste ad esempio nel fatto che:

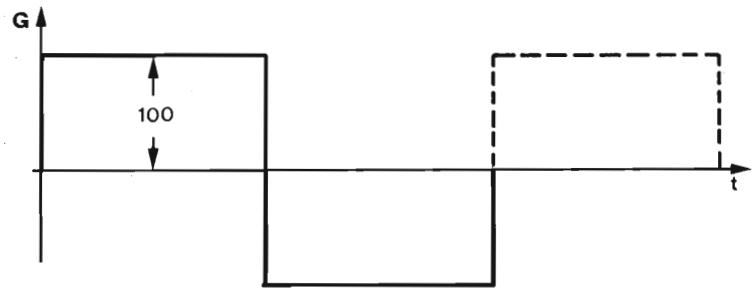
a) — generare un'onda diversa dalla sinoidale significa generare una serie di onde sinoidali di varie caratteristiche, oppure che:

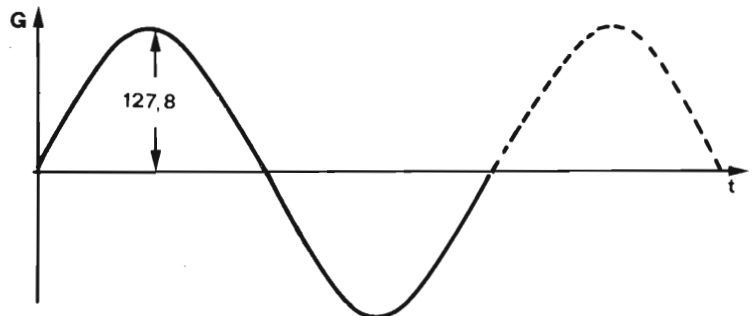
b) — la distorsione di un segnale può essere considerata come la generazione di onde sinoidali indesiderate, conoscendo le quali, non è difficile eliminarle con opportuni circuiti (filtri).

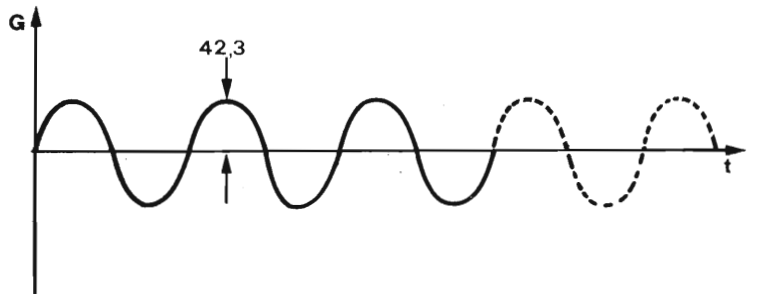
SIGNIFICATO DEL TEOREMA DI FOURIER

Con la premessa fatta alla pagina precedente vediamo se riusciamo a far capire il significato e la portata di una simile scoperta.

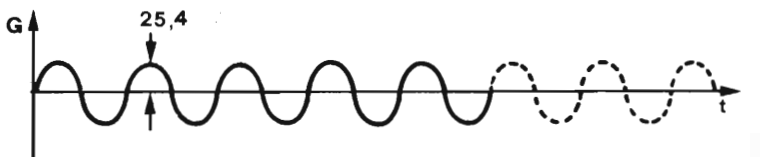
Prendiamo ad esempio un ciclo di forma d'onda quadra di ampiezza uguale a 100

Il teorema di Fourier dice che questa onda si può scomporre:

a) — In un'onda sinoidale (1ª armonica o fondamentale) della stessa frequenza di quella data in fase con la stessa e di ampiezza uguale a 127,8

più

b) — un'onda sinoidale di frequenza tripla rispetto a quella data (3ª armonica) in fase rispetto al suo punto di partenza e di ampiezza pari a 42,3

più

c) — un'onda sinoidale di frequenza quintupla rispetto a quella data (5° armonica) in fase rispetto al suo punto di partenza e di ampiezza pari a 25,4

G
25,4
t

più

d) — la 7ª armonica ecc. come risulta dalla tabella illustrata in 10.59-1

Osservazione

Questa forma d'onda è mancante delle armoniche di ordine pari (la 2°, la 4°, ecc.) altre forme d'onda invece le posseggono (v. 10-59).

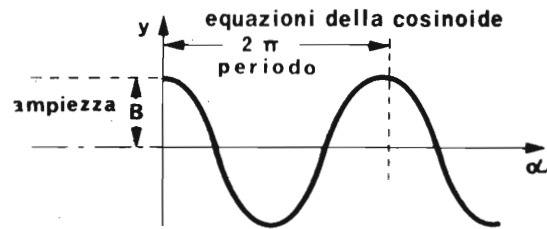
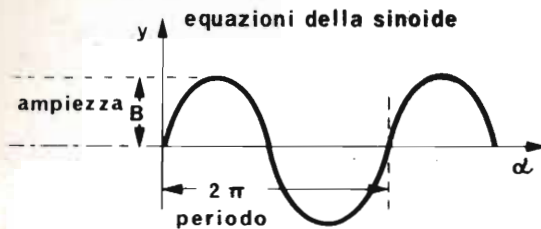
Avvertenze

Vale anche la proposizione inversa secondo la quale infatti prendendo tutte insieme queste sinoidali e sommandole fra di loro per punti corrispondenti si può ricomporre, quale risultante, l'onda originaria.
Si vedano gli esempi riportati nelle seconde pagine degli argomenti che seguono.

TEOREMA DI FOURIER

Una forma d'onda qualsiasi, purchè sia periodica, può essere scomposta in un insieme di infinite componenti sinoidali e cosinoidali.
Rispetto alla sinoide fondamentale di frequenza uguale alla forma d'onda in esame, la frequenza di ogni componente è crescente secondo multipli interi, mentre l'ampiezza decresce secondo una determinata legge algebrica e geometrica.

Inversamente, ciò significa che ogni grandezza periodica di qualsiasi forma può essere ricostruita sommando algebricamente i valori di infinite sinoidi e cosinoidi di frequenza crescente secondo multipli interi e di ampiezza decrescente secondo una regola predeterminata per ogni forma.

Equazioni fondamentali

$y_{1s} = A_1 \operatorname{sen} \alpha$	fondamentali	$y_{1c} = B_1 \cos \alpha$
$y_{2s} = A_2 \operatorname{sen} 2\alpha$	2^e armoniche	$y_{2c} = B_2 \cos 2\alpha$
$y_{3s} = A_3 \operatorname{sen} 3\alpha$	3^e armoniche	$y_{3c} = B_3 \cos 3\alpha$
....	....	....
$y_{ns} = A_n \operatorname{sen} \alpha$	n^e armoniche	$y_{nc} = B_n \cos \alpha$

Equazione generale di Fourier

In base al teorema enunciato, una forma d'onda qualsiasi, di frequenza **f**, è uguale alla seguente somma:

valore della risultante $y = y_o + y_1 + y_2 + y_3 + \dots\dots + y_n$

valore di un'eventuale componente continua che si presenta qualora il valore medio della forma d'onda fosse diverso da zero.

$y_1 = y_{1s} + y_{2s}$
valori della fondamentale di frequenza uguale a quella della forma d'onda in analisi

$y_n = y_{ns} + y_{nc}$ valori delle successive componenti (o armoniche) di ordine (o frequenza) n, rispetto alla fondament.

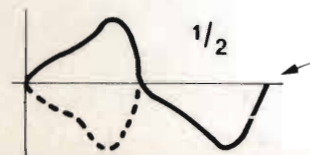
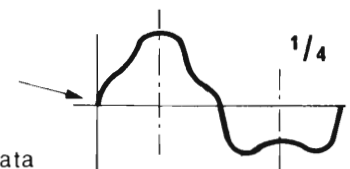
$y_3 = y_{3s} + y_{3c}$
valori della 3a armonica di frequenza tripla rispetto alla fondament.

$y_2 = y_{2s} + y_{2c}$
valori della 2a armonica di frequenza doppia rispetto alla fondament.

Alcune osservazioni di carattere generale

Ogni forma d'onda di tipo geometrico (oltre che periodico) presentano caratteristiche diverse di simmetria.

Simmetria di quarto d'onda: ogni semionda, tagliata con un asse mediano, forma due quarti d'onda fra loro simmetrici.

1/4

Simmetria di semionda: ogni semionda, traslata di un semiperiodo è simmetrica a quella opposta.

Le armoniche, cioè le varie sinoidi e cosinoidi che le compongono, si presentano secondo un certo ordine logico che dipende dal tipo di simmetria della forma d'onda, come si può vedere nelle analisi che seguono.

CONCETTI GENERALI SULLE FORME D'ONDA

A) Influenza delle armoniche **dispari** sulla forma della risultante.

Le sole armoniche dispari hanno un andamento simmetrico rispetto all'asse di una semionda della fondamentale.
La risultante sarà perciò anch'essa simmetrica rispetto allo stesso asse.

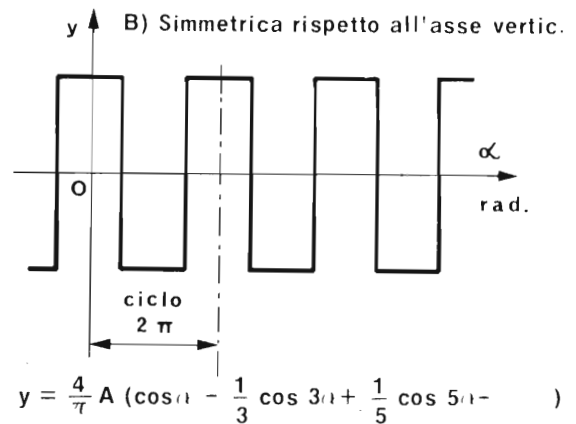
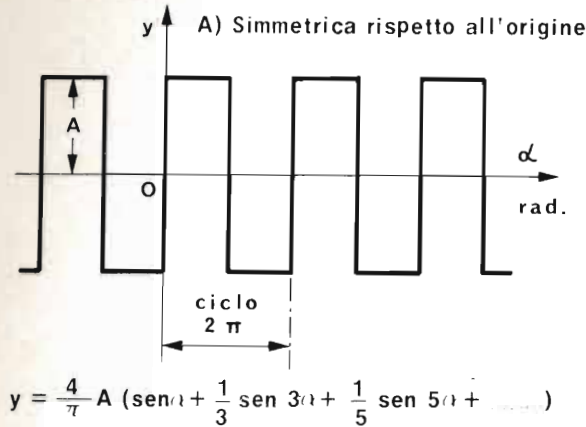
B) influenza delle armoniche **pari** sulla forma della risultante.

Le armoniche pari hanno un andamento asimmetrico rispetto all'asse di una semionda della fondamentale.
La risultante sarà **asimmetrica** rispetto allo stesso asse.

Ci sarà però una simmetria rispetto al punto di mezzo del ciclo della fondamentale.

y %
+ 100
+ 50
0
- 50
- 100
M
α
2ª armonica (2 cicli)
4ª armonica (4 cicli)
risultante
fondamentale (1 ciclo)

ANALISI ARMONICA DELL'ONDA QUADRA

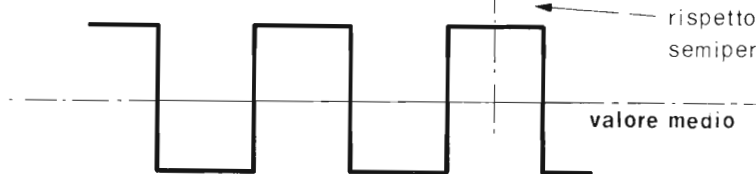
Le serie armoniche delle frequenze sinoidali che compongono la forma d'onda quadra sono le seguenti:

$$y = \frac{4}{\pi} A \left(\operatorname{sen}\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{sen} 3\alpha + \frac{1}{5}\operatorname{sen} 5\alpha + \ldots\ldots\right)$$

$$y = \frac{4}{\pi} A \left(\cos\alpha - \frac{1}{3}\cos 3\alpha + \frac{1}{5}\cos 5\alpha - \ldots\ldots\right)$$

Tabella analitica delle componenti sinoidali

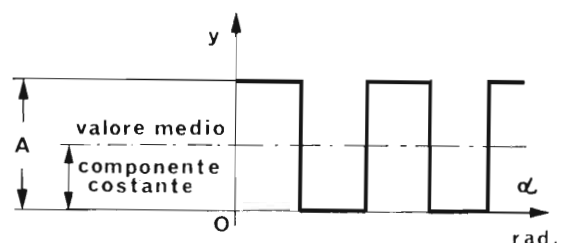
Definizione di ogni componente sinoidale — nome	simbolo	Frequenza rispetto a quella della quadra	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE — Ampiezza (identica nei 2 casi)	A) per simmetrica risp all'orig (solo seni)	B) per simmetrica risp all'asse vertic (solo coseni)	Note
Valore medio	y_o	0	0	—	—	← L'assenza di valore medio indica mancanza di componente costante
Fondamentale	y_1	f	$\frac{4}{\pi}$	$+ \operatorname{sen}\alpha$	$+ \cos\alpha$	
3 armonica	y_3	3 f	$\frac{4}{3\pi}$	$+ \operatorname{sen} 3\alpha$	$- \cos 3\alpha$	
5 armonica	y_5	5 f	$\frac{4}{5\pi}$	$+ \operatorname{sen} 5\alpha$	$+ \cos 5\alpha$	
....		......	......	......	......	
(2n − 1) armonica	$y_{(2n-1)}$	(2n − 1) f	$\frac{4}{(2n-1)\pi}$	$\operatorname{sen}(2n-1)\alpha$	$-(-1)^{(2n-1)} \cos(2n-1)\alpha$	

sono presenti solo armoniche di frequenza dispari.
Infatti (vedi 10.50) la forma possiede simmetria di quarto d'onda e simmetria di semionda

vedi 10.59 per l'analisi di questa forma d'onda

Simmetria di quarto d'onda: rispetto a questo asse verticale il semiperiodo è simmetrico.

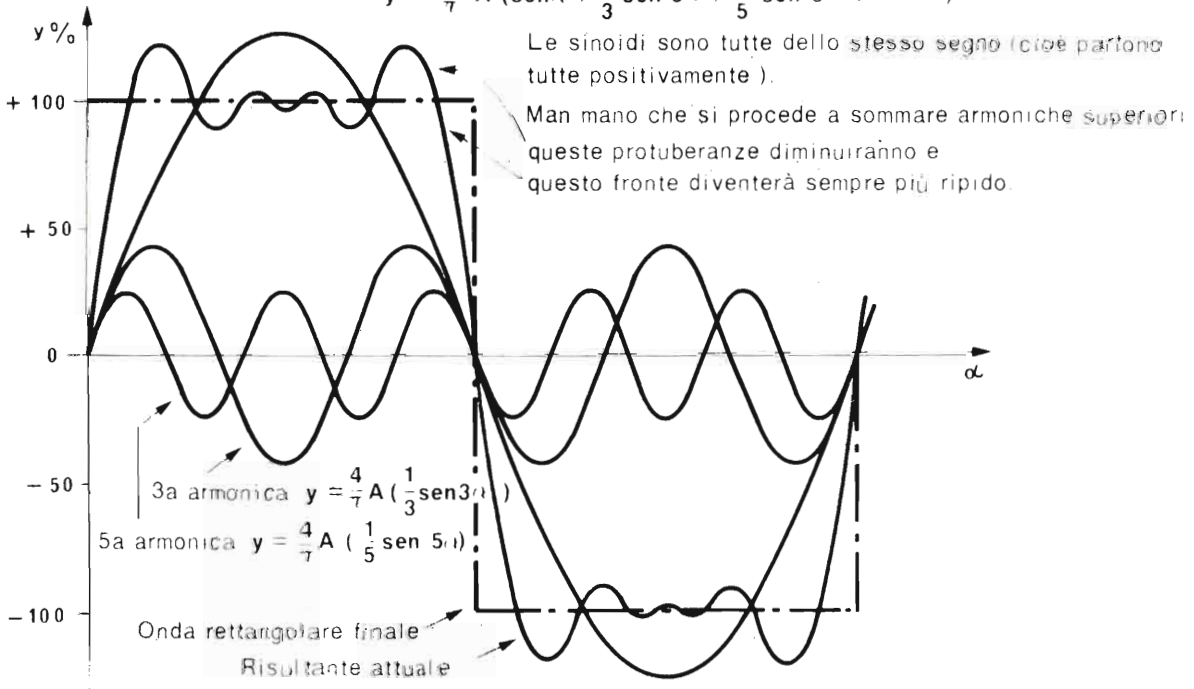
valore medio

Simmetria di semionda:
la semionda inferiore traslata di un semiperiodo è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio.

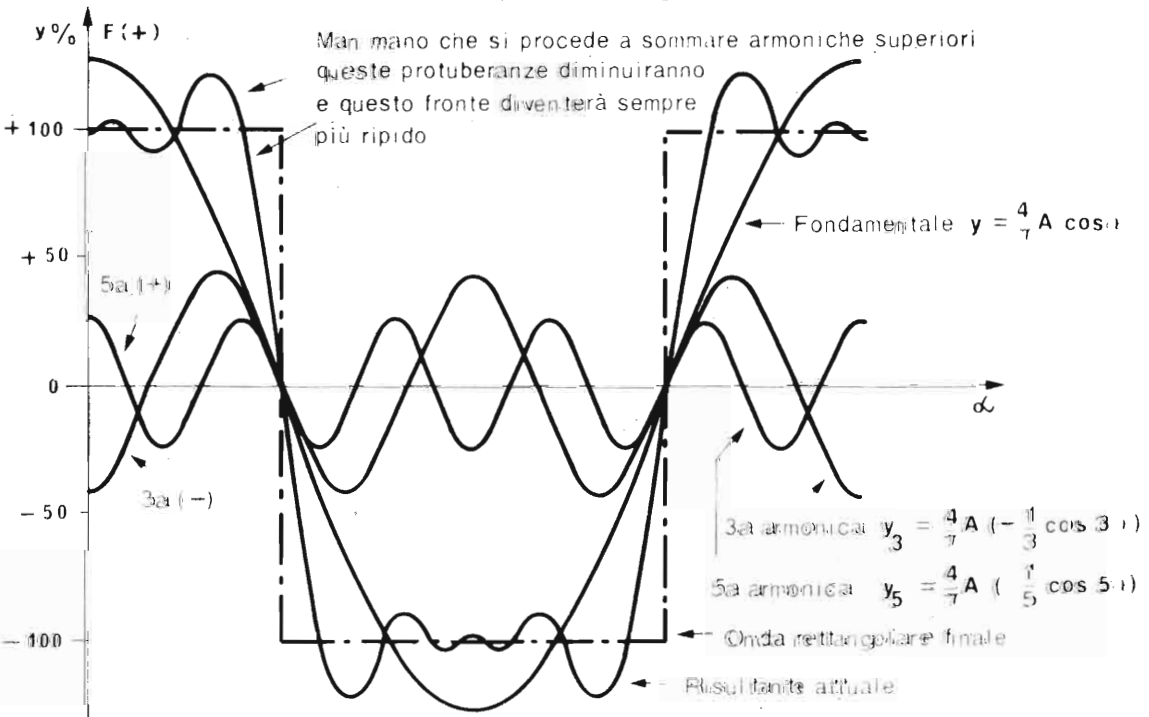
N.B. - Forme d'onda quadra interamente al disopra delle ascisse hanno un valore medio = A/ 2

SINTESI DELL'ONDA QUADRA

A) Per composizione di sinoidi (simmetrica rispetto all'origine)

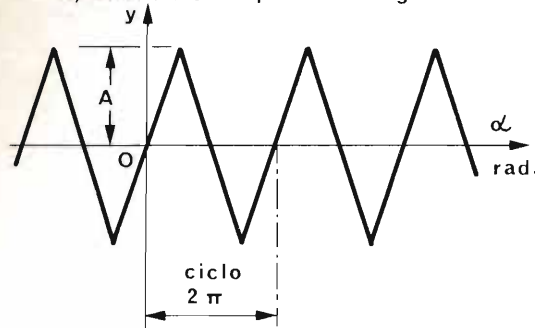
$$y = \frac{4}{\pi} A \left(\text{sen}\,\alpha + \frac{1}{3}\text{sen}\,3\alpha + \frac{1}{5}\text{sen}\,5\alpha + \quad\right)$$

Le sinoidi sono tutte dello stesso segno (cioè partono tutte positivamente).

B) Per composizione di cosinoidi (simmetrica rispetto alle ordinate)

Le cosinoidi sono alternativamente positive e negative (cioè partono alternativamente da valori positivi e negativi)

$$y = \frac{4}{\pi} A \left(\cos\alpha - \frac{1}{3}\cos 3\alpha + \frac{1}{5}\cos 5\alpha - \quad\right)$$

ANALISI ARMONICA DELL'ONDA TRIANGOLARE

Le serie armoniche delle frequenze sinoidali che compongono la forma d'onda triangolare sono le seguenti:

A) Simmetrica rispetto all'origine

$$y = \frac{8}{\pi^2} A \left(\text{sen}\,\alpha - \frac{1}{9}\,\text{sen}\,3\alpha + \frac{1}{25}\,\text{sen}\,5\alpha - \dots \right)$$

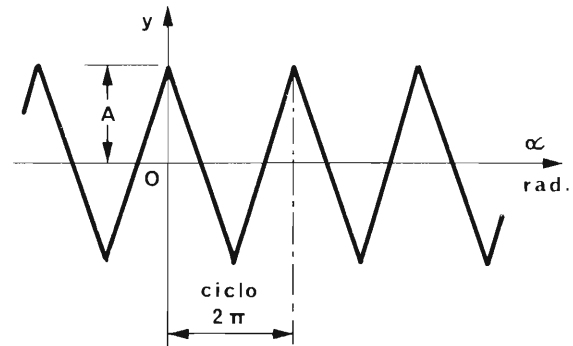
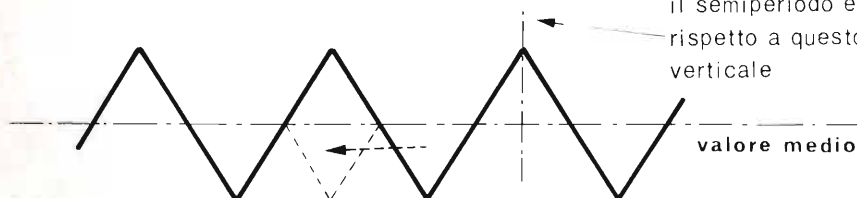
B) Simmetrica rispetto all'asse verticale

$$y = \frac{8}{\pi^2} A \left(\cos\alpha + \frac{1}{9}\cos 3\alpha + \frac{1}{25}\cos 5\alpha + \dots \right)$$

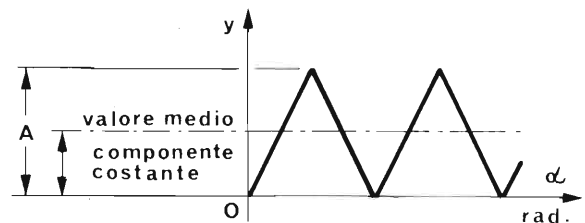
Tabella analitica delle componenti sinoidali

Definizione di ogni componente sinoidale — nome	simbolo	Frequenza rispetto a quella della triangolare	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE — Ampiezza (identica nei 2 casi)	A) per simmetrica risp all'orig (solo seni)	B) per simmetrica risp all'asse vertic (solo coseni)	Note
Valore medio	y_0	0	0	—	—	← L'assenza di valore medio indica mancanza di componente costante
Fondamentale	y_1	f	$\frac{8}{}$	+ sen α	+ cos α	
3a armonica	y_3	3 f	$\frac{8}{9\pi^2}$	− sen 3α	+ cos 3α	
5a armonica	y_5	5 f	$\frac{8}{25\pi^2}$	+ sen 5α	+ cos 5α	
....		....	....	....	....	
(2n − 1) armonica	$y_{(2n-1)}$	(2n − 1) f	$\frac{8}{(2n-1)^2\pi^2}$	$(-1)^{\left(\frac{n}{2}+1\right)}$ sen (2n − 1)α	cos (2n − 1)α	

sono presenti solo armoniche di frequenza dispari.
Infatti (vedi 10.50 la forma possiede simmetria di quarto d'onda e simmetria di semionda

Simmetria di quarto d'onda: il semiperiodo è simmetrico rispetto a questo asse verticale

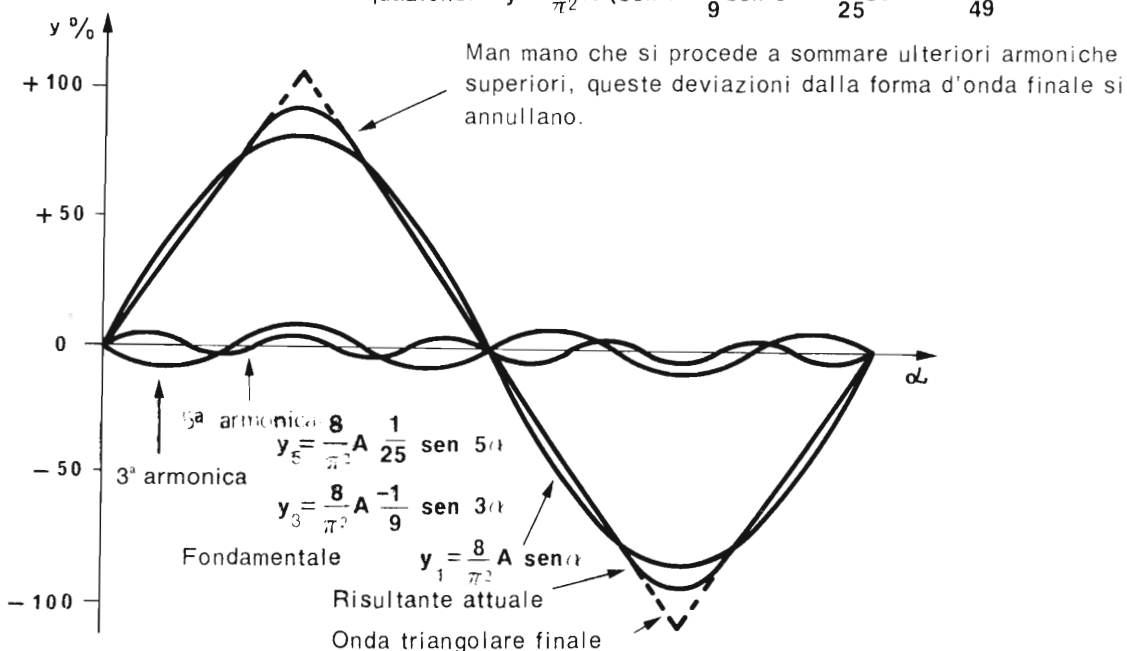
valore medio

Simmetria di semionda:
la semionda inferiore traslata di un semiperiodo è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio.

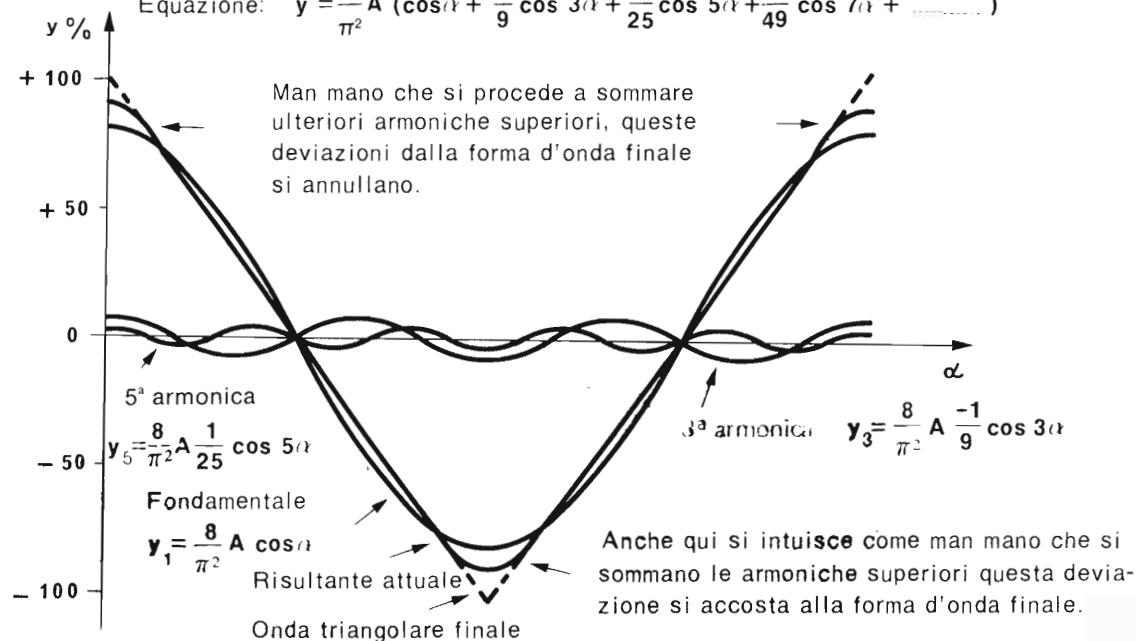
N.B. - Forme d'onda triangolari interamente al disopra delle ascisse hanno un valore medio = A/ 2.

SINTESI DELL'ONDA TRIANGOLARE

Questa forma d'onda è così povera di armoniche che già con le prime tre si trova ben delineata.

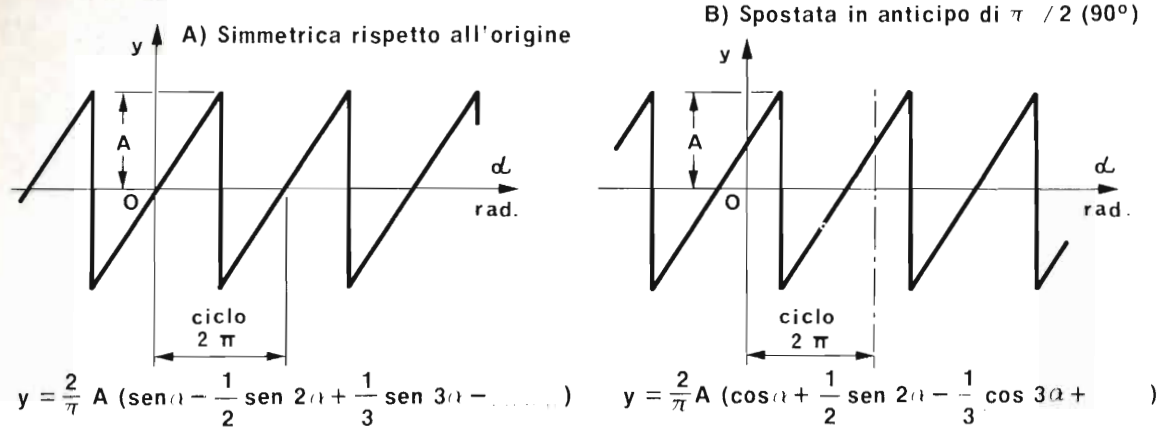
A) Per composizione di sinoidi (simmetrica rispetto all'origine)

Le sinoidi sono alternativamente di segno opposto (partono alternativamente assumendo valori positivi e negativi). Equazione: $y = \frac{8}{\pi^2} A \left(\text{sen}\,\alpha - \frac{1}{9}\text{sen}\,3\alpha + \frac{1}{25}\text{sen}\,5\alpha - \frac{1}{49}\text{sen}\,7\alpha + \right.$

B) Per composizione di cosinoidi (simmetrica rispetto alle ordinate)

Le cosinoidi sono tutte dello stesso segno (partono tutte positivamente)

Equazione: $y = \frac{8}{\pi^2} A \left(\cos\alpha + \frac{1}{9}\cos 3\alpha + \frac{1}{25}\cos 5\alpha + \frac{1}{49}\cos 7\alpha + \dots\dots \right)$

N.B. - I diagrammi sono costruiti per un ciclo della fondamentale e per A = 100.

ANALISI ARMONICA DELL'ONDA A DENTE DI SEGA

Le serie armoniche delle frequenze sinoidali che compongono la forma d'onda triangolare asimmetrica o a dente di sega sono le seguenti:

A) Simmetrica rispetto all'origine

$$y = \frac{2}{\pi} A \left(\text{sen}\,\alpha - \frac{1}{2}\,\text{sen}\,2\alpha + \frac{1}{3}\,\text{sen}\,3\alpha - \ldots\ldots \right)$$

B) Spostata in anticipo di π / 2 (90°)

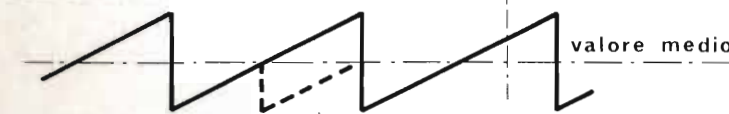
$$y = \frac{2}{\pi} A \left(\cos\alpha + \frac{1}{2}\,\text{sen}\,2\alpha - \frac{1}{3}\cos 3\alpha + \quad \right)$$

Tabella analitica delle componenti sinoidali

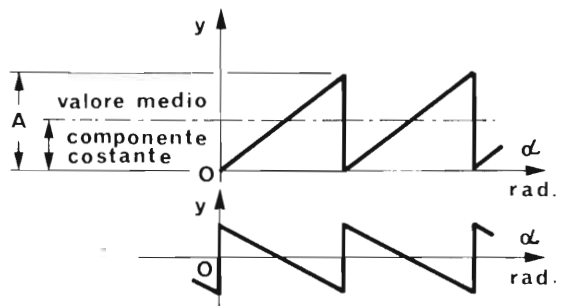
Definizione di ogni componente sinoidale — nome	simbolo	Frequenza rispetto alla dente di sega	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE — Ampiezza (identica nei due casi)	A) per simmetrica risp all'origine (solo seni)	B) per spostata in anticipo di π/2 (solo coseni)	Note
Valore medio	y_0	0	0	—	—	← L'assenza di valore medio indica mancanza di componente costante
Fondamentale	y_1	f	$\frac{2}{\pi}$	+ sen α	+ cos α	
2a armonica	y_2	2 f	π	− sen 2α	− cos 2α	
3a armonica	y_3	3 f	$\frac{2}{3\pi}$	+ sen 3α	+ cos 3α	
....		....	....	....	....	
n^a armonica	y_n	n f	$\frac{2}{n\pi}$	$-(-1)^{(2n-1)}$ sen nα	$-(-1)^{(2n-1)}$ cos nα	

↑ sono presenti tutte le armoniche (vedi 10.51)

questa forma non possiede simmetrie nè di quarto d'onda nè di semionda

Asimmetria di quarto d'onda: il semiperiodo non è simmetrico rispetto a questo asse verticale

Asimmetria di semionda: la semionda inferiore, traslata di un semiperiodo, non è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio.

N.B. - Forme d'onda a dente di sega interamente al disopra delle ascisse hanno valore medio = A/ 2.

N.B. - Per avere il diagramma in discesa basta invertire di segno il valore delle componenti.

SINTESI DELL'ONDA A DENTE DI SEGA

A) Per composizione di sinoidi (simmetrica rispetto all'origine)

Le sinoidi sono alternativamente positive e negative (cioè assumono all'inizio valori positivi o negativi).

Equazione: $y = \frac{2}{\pi} A \left(\operatorname{sen}\alpha - \frac{1}{2}\operatorname{sen} 2\alpha + \frac{1}{3}\operatorname{sen} 3\alpha - \frac{1}{4}\operatorname{sen} 4\alpha + \ldots\right)$

y %

+ 100

+ 50

0

− 50

− 100

α

Man mano che si procede con le armoniche superiori queste deviazioni tendono a far che la risultante si identifichi alla retta inclinata relativa alla forma d'onda finale...

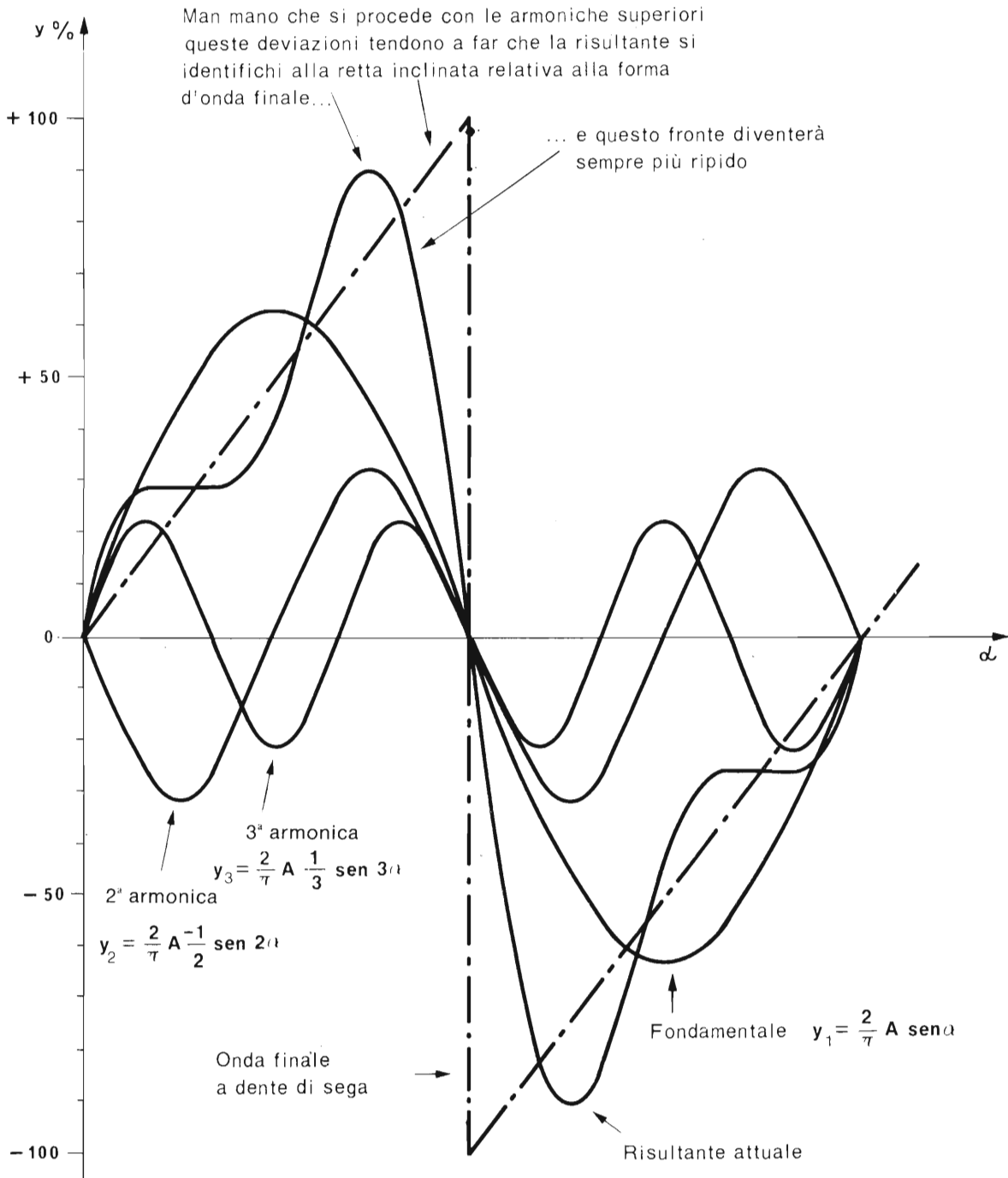
... e questo fronte diventerà sempre più ripido

3ª armonica $y_3 = \frac{2}{\pi} A \frac{1}{3} \operatorname{sen} 3\alpha$

2ª armonica $y_2 = \frac{2}{\pi} A \frac{-1}{2} \operatorname{sen} 2\alpha$

Fondamentale $y_1 = \frac{2}{\pi} A \operatorname{sen}\alpha$

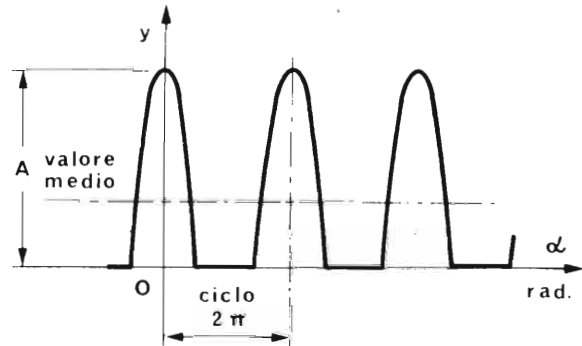
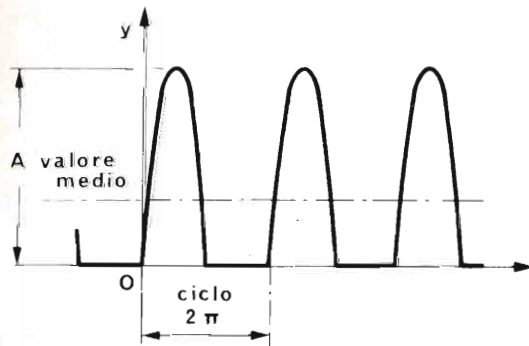
Onda finale a dente di sega

Risultante attuale

N.B. - Il diagramma è costruito per un ciclo della fondamentale e per A = 100.

ANALISI ARMONICA DELL'ONDA A SEMISINOIDE

Le serie armoniche delle frequenze sinoidali che compongono la forma d'onda a semisinoide sono le seguenti:

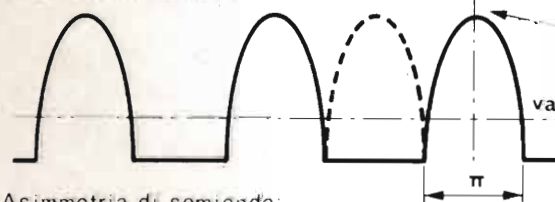
A) Con inizio dall'origine

B) Simmetrica rispetto alle ordinate

$$y = \frac{1}{\pi} A \left(1 + \frac{\pi}{2} \operatorname{sen}\alpha - \frac{2}{3} \cos 2\alpha - \frac{2}{15} \cos 4\alpha + \qquad \right)$$

$$y = \frac{1}{\pi} A \left(1 + \frac{\pi}{2} \cos\alpha + \frac{2}{3} \cos 2\alpha - \frac{2}{15} \cos 4\alpha + \qquad \right)$$

Tabella analitica delle componenti sinoidali

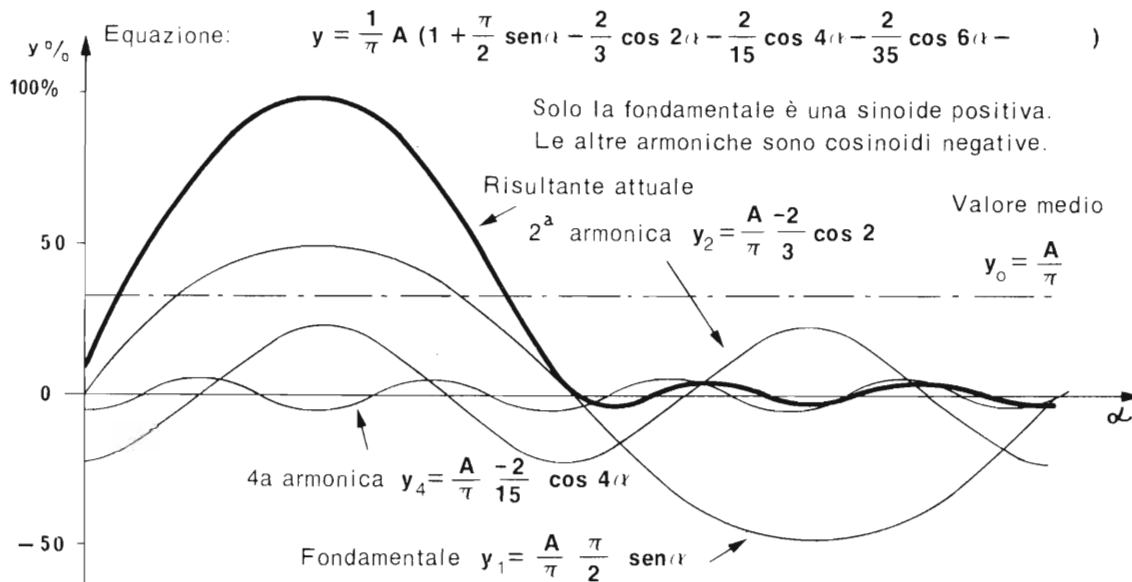
Definizione di ogni componente sinoidale — nome	simbolo	Frequenza rispetto alla semisinoide	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE — Ampiezza (identica nei due casi)	A) per inizio dall'origine (solo seni)	B) per simmetrica risp. all'asse vertic. (solo coseni)	Note
Valore medio	y_0	0	$\frac{1}{\pi}$	—		← Il valore medio indica la presenza di una componente costante pari a circa il 32% dell'ampiezza A della semisinoide
Fondamentale	y_1	f	$\frac{1}{2\pi}$	$+ \operatorname{sen}\alpha$	$+ \cos\alpha$	
2a armonica	y_2	2 f	$\frac{2}{3\pi}$	$- \cos 2\alpha$	$+ \cos 2\alpha$	
4a armonica	y_4	4 f	$\frac{2}{15\pi}$	$- \cos 4\alpha$	$- \cos 4\alpha$	
2n − armonica		2nf	$\frac{2}{(n^2-1)\pi}$	$- \cos 2n\alpha$	$(-1)^{(\frac{n}{2}+1)} \cos 2n\alpha$	

↑ sono presenti solo armoniche di frequenza pari (vedi 10.50) la forma possiede solo simmetria **di** quarto d'onda e non simmetria di semionda

simmetria di quarto d'onda:
il semiperiodo è simmetrico rispetto a questo asse verticale.

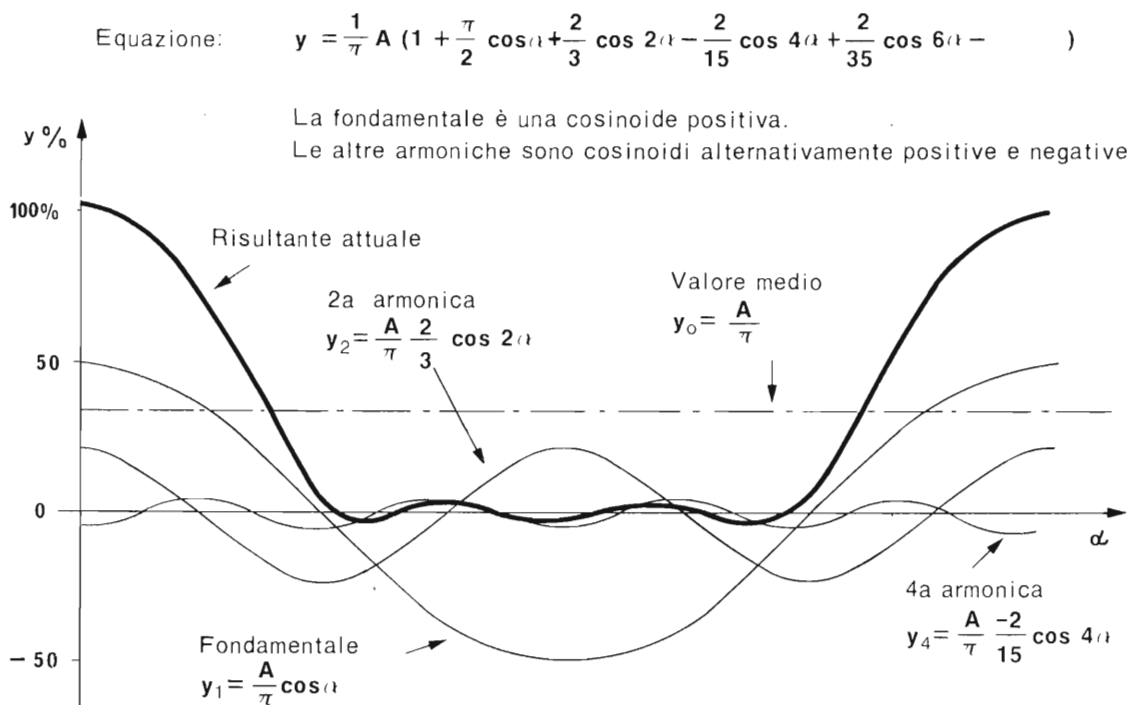
Asimmetria di semionda:
la semionda inferiore, traslata di un semiperiodo non è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio

SINTESI DELL'ONDA A SEMISINOIDE

Questa forma d'onda è così povera di armoniche che essa si trova già ben delineata con le prime tre.

A) Con inizio dall'origine

Equazione: $y = \frac{1}{\pi} A \left(1 + \frac{\pi}{2} \operatorname{sen}\alpha - \frac{2}{3} \cos 2\alpha - \frac{2}{15} \cos 4\alpha - \frac{2}{35} \cos 6\alpha - \quad \right)$

Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche superiori, le deviazioni dalla forma d'onda finale (qui non indicata) si annullano.

B) Simmetrica rispetto alle ordinate

Equazione: $y = \frac{1}{\pi} A \left(1 + \frac{\pi}{2} \cos\alpha + \frac{2}{3} \cos 2\alpha - \frac{2}{15} \cos 4\alpha + \frac{2}{35} \cos 6\alpha - \quad \right)$

La fondamentale è una cosinoide positiva.
Le altre armoniche sono cosinoidi alternativamente positive e negative.

Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche superiori, le deviazioni dalla forma d'onda finale (qui non disegnata) si annullano.

N.B. - I diagrammi sono costruiti per un ciclo della fondamentale e per A = 100.

ANALISI ARMONICA DELL'ONDA A DOPPIA SEMISINOIDE

Le serie armoniche di frequenze sinoidali che compongono la forma d'onda a doppia semisinoide sono le seguenti:

A) Con inizio dall'origine

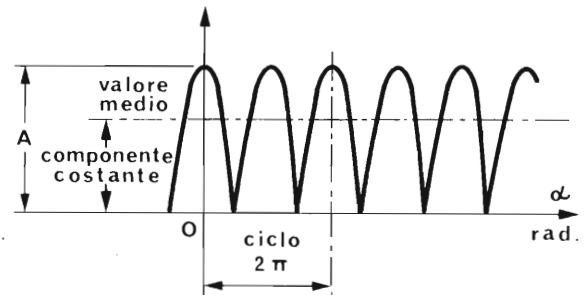
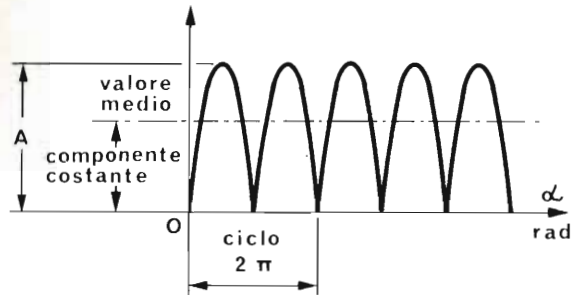
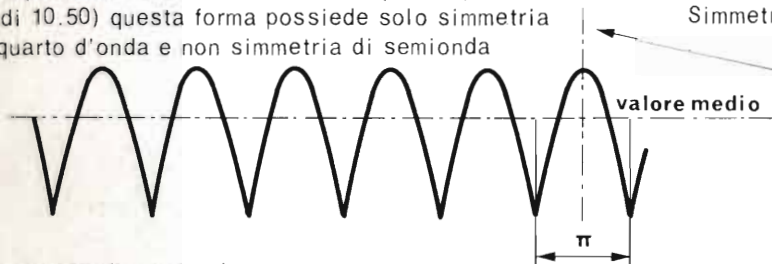
B) Simmetrica rispetto all'asse verticale

$y = \frac{2}{\pi} A \left(1 - \frac{2}{3}\cos 2\alpha - \frac{2}{15}\cos 4\alpha - \frac{2}{35}\cos 6\alpha - \quad\right)$ $y = \frac{2}{\pi} A \left(1 + \frac{2}{3}\cos 2\alpha - \frac{2}{15}\cos 4\alpha + \frac{2}{35}\cos 6\alpha - \quad\right)$

Tabella analitica delle componenti sinoidali

Definizione di ogni componente sinoidale — nome	simbolo	Frequenza rispetto alla doppia semisinoide	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE — Ampiezza (identica nei due casi)	A) per inizio dall'origine (solo seni)	B) per simmetrica risp. all'asse vertic. (solo coseni)	Note
Valore medio	y_0	0	$\frac{2}{\pi}$	—	—	← Il valore medio indica la presenza di una componente costante pari a circa il 63,6% dell'ampiezza A della doppia semisinoide.
Fondamentale	y_1	2 f	$\frac{4}{3\pi}$	$-\cos 2\alpha$	$+\cos 2\alpha$	
4a armonica	y_4	4 f	$\frac{4}{15\pi}$	$-\cos 4\alpha$	$-\cos 4\alpha$	
6a armonica	y_6	6 f	$\frac{4}{35\pi}$	$-\cos 6\alpha$	$+\cos 6\alpha$	
......		......	......	......		
2n armonica	y_{2n}	2 n f	$\frac{4}{(n^2-1)\pi}$	$-\cos 2n\alpha$	$(-1)^{(\frac{n}{2}+1)} \cos 2n\alpha$	

sono presenti solo armoniche di frequenza pari (vedi 10.50) questa forma possiede solo simmetria di quarto d'onda e non simmetria di semionda

Simmetria di quarto d'onda:
il semiperiodo è simmetrico rispetto a questo asse verticale.

valore medio

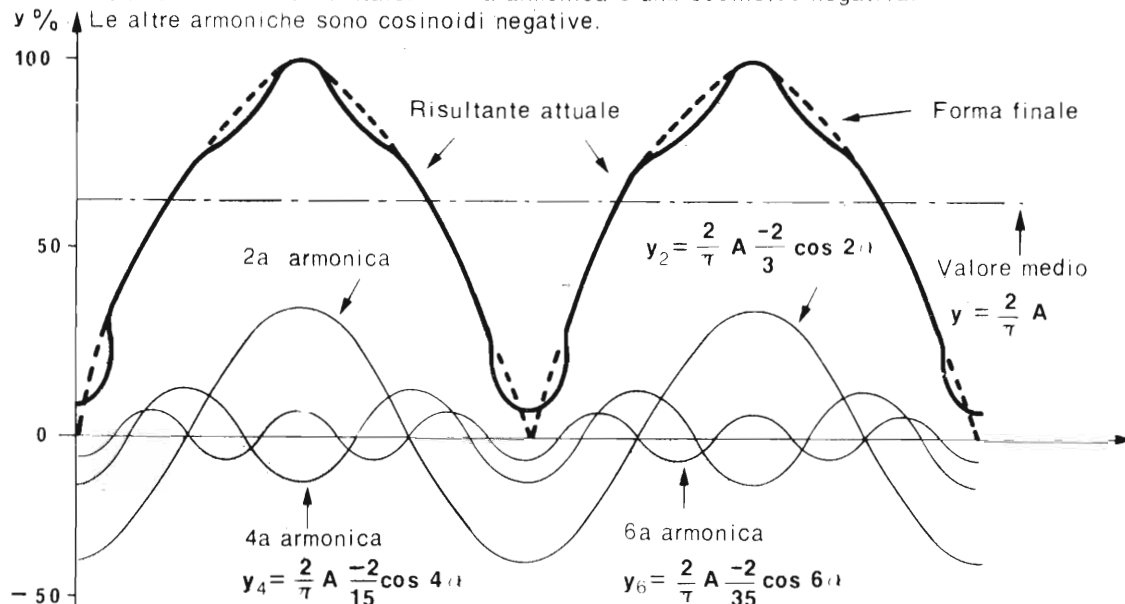
π

Asimmetria di semionda:
la semionda inferiore, traslata di un semiperiodo non è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio, ma vi coincide.

SINTESI DELL'ONDA A DOPPIA SEMISINOIDE

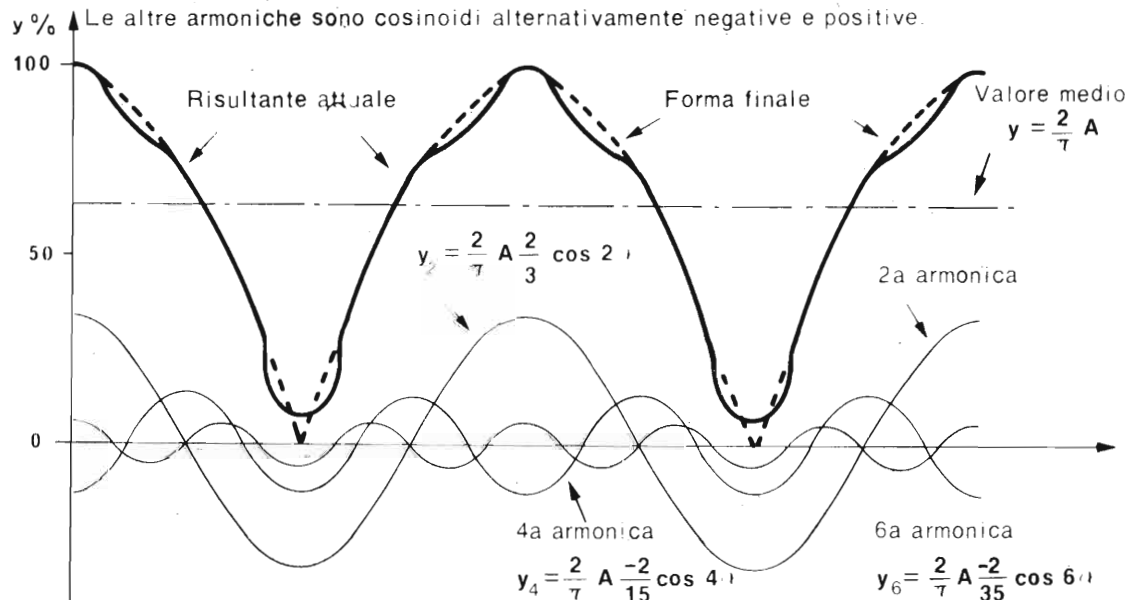
A) Con inizio dall'origine

Equazione: $y = \frac{2}{\pi} A \left(1 - \frac{2}{3}\cos 2\omega t - \frac{2}{15}\cos 4\omega t - \frac{2}{35}\cos 6\omega t - \quad\right)$

Non esiste la fondamentale. La 2a armonica è una cosinoide negativa. Le altre armoniche sono cosinoidi negative.

Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche, le deviazioni dalla forma d'onda finale si annullano.

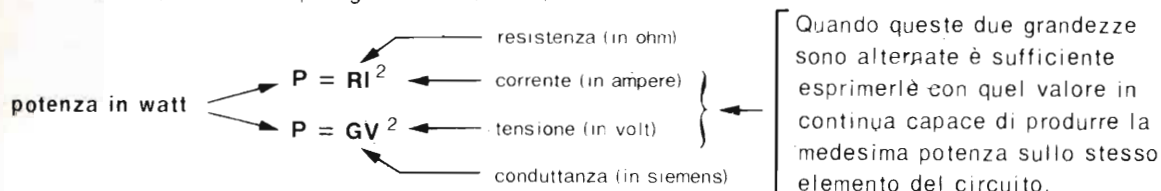
B) Simmetrica rispetto all'asse verticale

Equazione: $y = \frac{2}{\pi} A \left(1 + \frac{2}{3}\cos 2\omega t - \frac{2}{15}\cos 4\omega t + \frac{2}{35}\cos 6\omega t - \quad\right)$

Non esiste la fondamentale. La 2a armonica è una cosinoide positiva. Le altre armoniche sono cosinoidi alternativamente negative e positive.

Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche, le deviazioni dalla forma d'onda finale si annullano.

VALORE EFFICACE DELLE FORME D'ONDA

Concetto di valore efficace

La determinazione del valore efficace di una grandezza alternata qualsiasi parte dalla necessità di esprimere la potenza nello stesso semplice modo usato per la corrente continua, cioè (vedi anche paragrafi 11.5 e 11.6):

Il valore efficace è dunque un valore medio particolare che nella letteratura anglosassone è chiamato R.M.S. = Root Mean Square (radice della media quadratica).

Calcolo del valore efficace

L'espressione per una grandezza alternata di qualsiasi forma è la seguente:

valore efficace

$$E = \sqrt{\frac{\int_0^T y^2 \, d\alpha}{T}}$$

- y^2 ← espressione algebrica della forma d'onda
- $d\alpha$ ← angolo del ciclo (variabile indipendente)
- T ← periodo dell'oscillazione (per α in radianti, $T = 2\pi$)

Questa è l'espressione del **valore medio del quadrato della funzione** estesa per un intero periodo della forma d'onda presa in considerazione.

Valore efficace per la forma d'onda sinoidale

L'espressione algebrica di questa forma d'onda è **y = A sen α** (vedi 10.50) per cui il

valore efficace

$$E = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

- A ← ampiezza massima dell'oscillazione
- $\sqrt{2}$ ← costante = 1.41

Valore efficace della somma di sinoidi

La scomposizione armonica delle forme d'onda o la loro composizione con sinoidi e cosinoidi di dato valore efficace, richiede un'importante precisazione.

Sebbene la composizione di una forma d'onda si ottiene sommando algebricamente i valori istantanei corrispondenti, la somma di due sinoidi di frequenza diversa non corrisponde alla somma dei loro valori efficaci.

L'espressione generale alla quale si giunge (non troppo facilmente) è la seguente:

$$E = \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$$

cioè: **il valore efficace E di una forma d'onda qualsiasi è uguale alla radice quadrata della somma dei quadrati dei valori efficaci Em delle singole armoniche, compreso l'eventuale valore medio Eo**

Valori efficaci di alcune forme d'onda particolari

Vedi tabella alla pagina seguente.

FATTORI DI FORMA E DI CRESTA DELLE FORME D'ONDA

A cosa servono i fattori di forma e di cresta

Prima di decidere di effettuare una laboriosa analisi armonica di una forma d'onda, talvolta, è sufficiente conoscere quanto essa si discosta da quella che si vuole ottenere.

In questo caso è sufficiente conoscere determinate grandezze, misurabili facilmente e con semplici strumenti, con le quali ricavare dei fattori che possono individuare la forma d'onda che si vuole analizzare.

Definizioni

Osserveremo come con i valori massimo (Gmax), efficace (G) e medio (Gmed) delle grandezze oscillanti periodicamente, riferiti **ad una sola semionda**, si possono determinare i due seguenti interessanti fattori:

Fattore di forma $K_f = \dfrac{G}{Gmed}$ — valore efficace di una semionda — diviso — valore medio di una semionda

Fattore di cresta $K_c = \dfrac{Gmax}{G}$ — valore massimo di una semionda — diviso — valore efficace di una semionda

Tabella dei valori

La seguente riassume i valori per le forme d'onda più note.

Forma d'onda		Fattori		Valori per una semionda rispetto al massimo Gmax = 1	
Denominazione	Figura	di forma kf	di cresta kc	efficace G	medio Gmed
Rettangolare indefinita (corrente continua)		1.00	1.00	1.000	1.00
Semicerchio e Semiellisse		1.04	1.22	0.819	0.787
Sinoide, Semisinoide e Doppia semisinoide		1.11	1.41	0.707	0.637
Triangolare e Dente di sega		1.15	1.72	0.577	0.500
Cuspide sinoidale		1.31	2.08	0.480	0.366
Cuspide ellittica		1.44	3.22	0.310	0.215

Osservazioni

Il fattore di cresta è l'inverso del valore efficace e indica quante volte il valore massimo supera il valore efficace.

Il fattore di forma indica quante volte il valore efficace supera il valore medio.

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE ARMONICHE PER LE PRINCIPALI FORME D'ONDA

Si sono calcolate per ogni forma d'onda le ampiezze delle sue armoniche fino ad un valore apprezzabile.

Preso come 100 il valore dell'ampiezza della forma d'onda in esame, i valori delle armoniche sono espressi come percentuale fino ad un valore non inferiore al 3%

Valori percentuali dell'ampiezza delle armoniche rispetto all'ampiezza della forma d'onda originale

Nome →	quadra	triangolare	dente di sega	semi sinoide	doppia semi sinoide
Forma →					
Ampⷶ originar.	100.-	100.-	100.-	100.-	100.-
Valore medio	-	-	-	31.8	63.6
Ordine delle armoniche (Multipli di frequenza rispetto all'originaria) 1	127.8	81.0	63.6	50.0	-
2			31.8	21.2	42.4
3	42.3	9.0	21.2		
4			15.9	4.2	8.5
5	25.4	3.2	12 7		
6			10.6	------	3.6
7	18.0	-------	9.1		
8			7.9		------
9	14.1		7.0		
10			6.3		
11	11.6		5.8		
12			5.3		
13	9.8		4.9		
14			4.5		
15	8.3		4.2		
16			4.0		
17	7.4		3.7		
18			3.5		
19	6.7		3.3		
20			3.2		
21	6.0		3.0		
22			------		
23	5.0				
24					
25	4.6				

Le forme più ricche di armoniche sono:

rettangolare che ha solo le frequenze dispari ma con ampiezze ancor più sostenute

dente di sega che ha tutte le frequenze con ampiezze sostenute

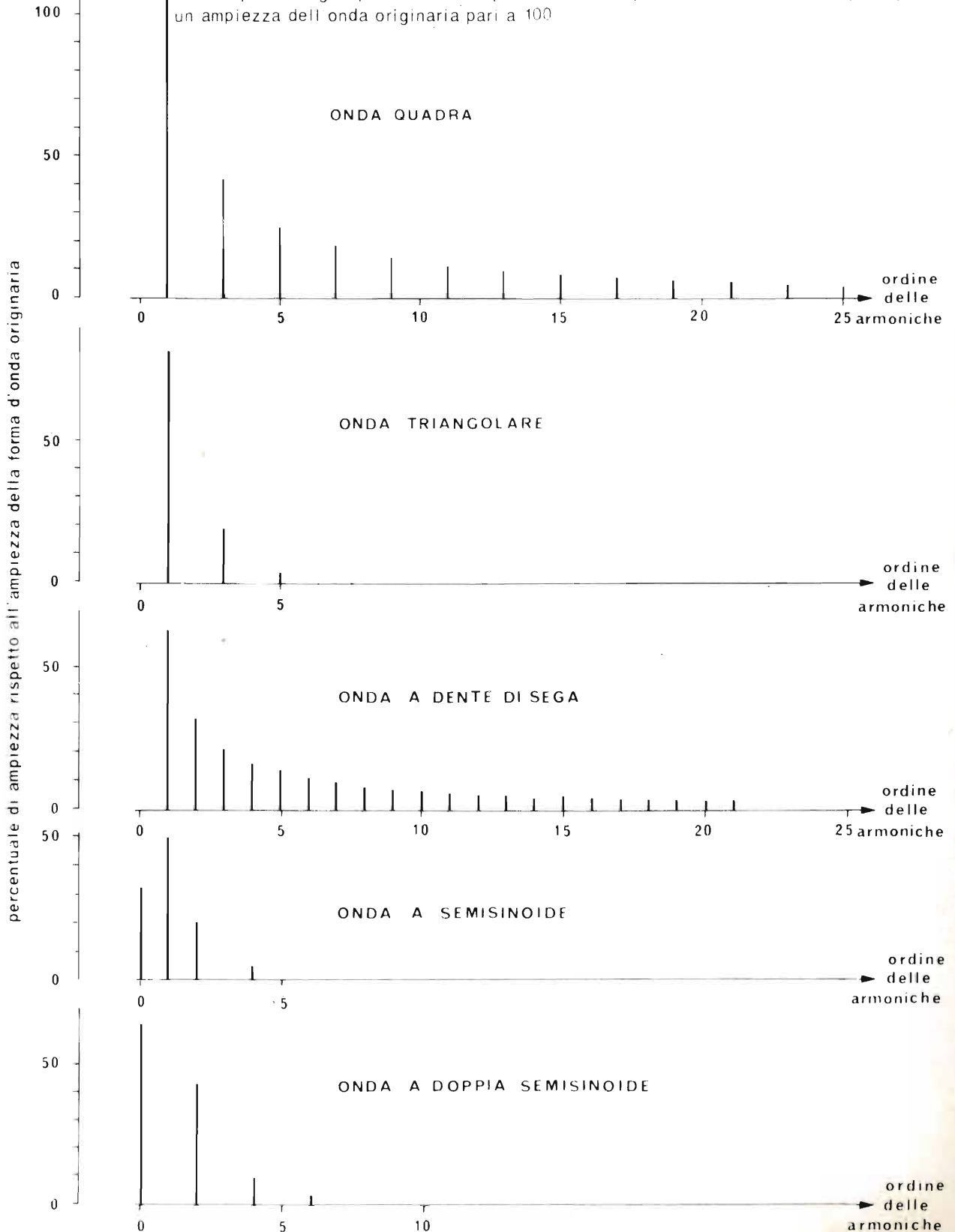
Per questo motivo le forme d'onda rettangolare ed a dente di sega sono molto utili per analizzare il comportamento dei circuiti alle varie frequenze.

Infatti, inserire in un circuito un'onda rettangolare o a dente di sega, significa inserire contemporaneamente tutte le frequenze che ciascuna di queste due forme d'onda possiede. Se il circuito non crea distorsioni, esse si devono ritrovare tutte all'uscita nelle stesse proporzioni.

SPETTRI DELLE FREQUENZE PER LE PRINCIPALI FORME D'ONDA

Si chiamano spettri delle frequenze quei particolari diagrammi che riportano.

- sulle ascisse i valori delle frequenze delle armoniche
- sulle ordinate i valori delle ampiezze per ogni corrispondente armonica.

Diamo qui sotto gli spettri delle frequenze dei casi precedentemente contemplati per un ampiezza dell onda originaria pari a 100

Capitolo 11

TENSIONE CORRENTE RESISTENZA

Indice dei paragrafi e degli argomenti

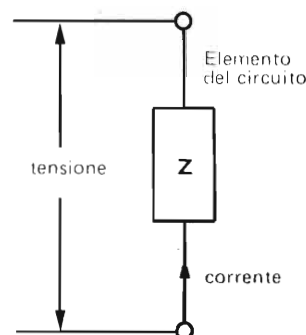
Paragrafo 11.1

CONCETTI GENERALI

Indice degli argomenti e delle pagine

TENSIONE E CORRENTE

In questo capitolo 11 vogliamo mettere in evidenza i concetti di tensione e di corrente, che i principianti spesso confondono.

Chiariti questi concetti, ci soffermiamo su due grandezze fra loro reciproche, che derivano dal rapporto che quelle due grandezze fondamentali stabiliscono fra di loro quando si trovano ad operare su un elemento del circuito.

RAPPORTI STATICI

Abbiamo già visto in 10.21, quando consideravamo la Legge di Ohm, che esiste una reciprocità di rapporti e abbiamo chiamato

resistenza (in ohm) $R = \dfrac{\text{il valore della tensione (in volt)}}{\text{il valore della corrente (in ampere)}}$ (diviso)

conduttanza (in siemens) $G = \dfrac{\text{il valore della corrente (in ampere)}}{\text{il valore della tensione (in volt)}}$ (diviso)

Da questa definizione deriva che $G = \frac{1}{R}$ e $R = \frac{1}{G}$ per cui spesso si usa parlare indifferentemente dell'una (la resistenza) o dell'altra (la conduttanza). Più spesso si usa parlare unicamente di resistenza causando dei traumi ai principianti quando devono passare dal calcolo di un circuito parallelo a quello di un circuito serie e viceversa.

RAPPORTI DINAMICI

A complicare le idee al principiante interviene il concetto di resistenza differenziale, e quindi di conduttanza differenziale, che nel campo dell'elettronica sono di fondamentale importanza.

Conviene fin d'ora ricordare che l'elettronica è principalmente orientata nelle applicazioni delle variazioni di valori di tensione e di corrente intorno ad un valore medio di queste.

Nella maggioranza dei casi, e spesso di proposito, il comportamento fra tensione e corrente in un elemento del circuito non si mantiene ugualmente proporzionale per qualsiasi valore di esse.

E' sufficiente per le applicazioni pratiche che certi elementi del circuito (i transistor, ad esempio) vengano costruiti in modo da mantenere costante entro un ampio intervallo di valori il rapporto fra le variazioni di tensione e le corrispondenti variazioni di corrente.

E' questo il concetto di resistenza differenziale o dinamica, sul quale non ci stancheremo di parlare ogni volta che lo riterremo opportuno.

Mettiamoci d'accordo sugli aggettivi

Nel corso della trattazione spesso incontreremo gli aggettivi sottoelencati sui quali vogliamo dare delle definizioni per la corretta applicazione anche se spesso l'autore nella fretta qualche volte si è lasciato trasportare dalle abitudini del gergo.

Ecco gli aggettivi affiancati da brevi commenti:

continua : trattasi di corrente che scorre in un solo senso senza cambiare di valore.
Da applicarsi più alla corrente che alla tensione.
Si parla infatti di "corrente continua" anche quando si tratta di fenomeni non legati alla corrente ed in questo caso si dovrebbe parlare più di "energia" che di corrente.
Paradossalmente si dice comunemente: una tensione in corrente continua. !

costante : trattasi di tensione che mantiene inalterato il suo valore nel tempo.
Da riferirsi più alla tensione che alla corrente.
Di regola una batteria è un generatore di tensione costante, ma il gergo ci fa dire: un generatore di corrente continua.

unidirezionale : è indicato per correnti e tensioni variabili, mantenendo la medesima polarità.
Per questo motivo una variabile unidirezionale è sempre polarizzata (v. sotto).

alternata : è usato per indicare variabili dove l'inversione di polarità avviene più o meno regolarmente mantenendo un valore medio uguale a zero. Queste possono essere:

Aperiodica quando non rispondono a leggi periodiche ben definite

Sinoidale
Quadra
Rettangolare
Triangolare
ecc. (v. 10.43)
} quando le alternative periodiche presentano forme ben definite e caratterizzate dall'aggettivo appropriato

polarizzata : si dice per una corrente o una tensione alternata che presentino un valore medio diverso da zero (positivo o negativo).
In questo caso può verificarsi l'inversione di polarità qualora valori istantanei di polarità opposte a quella del valore medio superino il valore medio stesso.

Tensioni e correnti alternate o comunque variabili nel tempo sono quelle che maggiormente vengono sfruttate nella tecnica elettronica.

La tensione costante, salvo qualche rara eccezione, viene usata esclusivamente per l'alimentazione delle apparecchiature a correnti deboli.

La corrente continua, intesa come corrente, non come energia, e la tensione alternata hanno rare applicazioni nella tecnica delle correnti deboli e sono largamente usate quale servomezzo nell'elettronica industriale.

Per la lettura di questa pagina si ritengono noti i concetti espressi in 10.43.

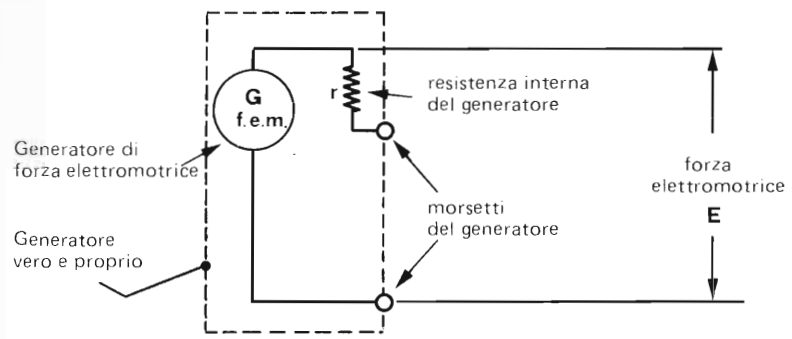
FORZA ELETTROMOTRICE E TENSIONE

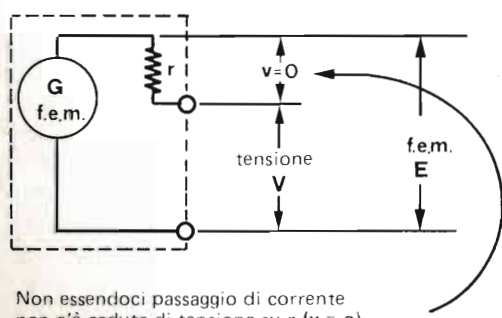
I cosiddetti **"Generatori di tensione"** sono in realtà

Generatori di Forza Elettromotrice

Tensione e Forza elettromotrice sono grandezze della stessa natura (si misurano infatti in volt), ma bisogna distinguerle.

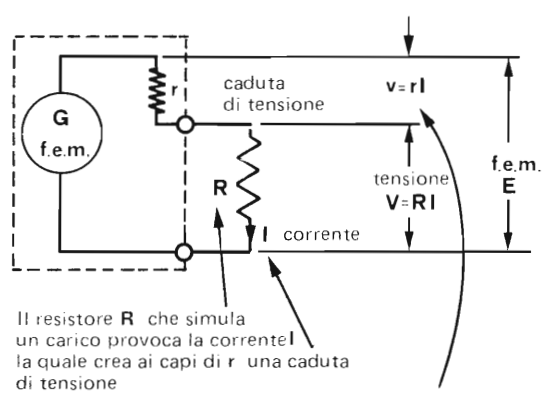
Questa necessità di distinzione è dovuta al fatto che i generatori di forza elettromotrice posseggono una resistenza interna, che modifica molto le cose, soprattutto in elettronica.

Stando al nostro metodo rappresentativo, disegnamo il generatore così:

Per capire questa pagina bisogna aver chiari i concetti espressi in 10.10 e 10.21

GENERATORE A VUOTO
(a circuito aperto o senza carico)

Non essendoci passaggio di corrente non c'è caduta di tensione su r (v = o)

Perciò la tensione **V** è uguale alla f.e.m. **E** cioè

$$V = E$$

GENERATORE SOTTO CARICO

Il resistore **R** che simula un carico provoca la corrente **I** la quale crea ai capi di r una caduta di tensione

Perciò la tensione **V**, rispetto ad **E** diminuisce di questa c.d.t. cioè

$$V = E \quad v$$

In altre parole:

si forma un partitore di tensione che abbassa tanto maggiormente la tensione **V** quanto più forte è la corrente **I** (e ciò avviene quando **R** diminuisce) ed essendo costante la f.e.m. impressa, resterà inalterata la somma

$$v + V = E$$

ATTENZIONE

Forza Elettromotrice e Tensione non sono sinonimi, ma sono due entità ben distinte da non confondere!

GENERATORE DI TENSIONE E GENERATORE DI CORRENTE

All'origine dei fenomeni elettrici si immagina sempre una tensione, così come all'origine dei fenomeni idrualici si immagina sempre un dislivello.

E' più facile immaginare una tensione che genera una corrente che non una corrente che genera una tensione.

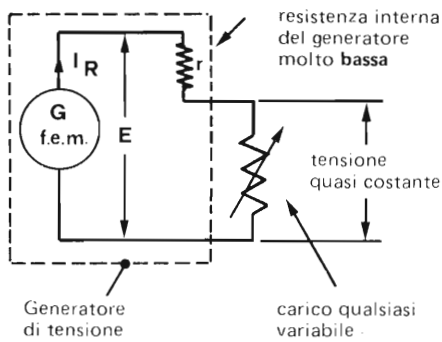
Una volta assimilato il principio di reciprocità, non dovrebbero esserci più dubbi, che si possa creare una tensione sfruttando una corrente che, attraverando una resistenza, alza il potenziale di un suo terminale rispetto all'altro.

Ora vediamo un altro importante concetto della reciprocità.

GENERATORE DI TENSIONE

E' facile immaginare un generatore di tensione.

Da un generatore di tensione noi chiediamo una tensione costante (nei limiti del possibile) in qualsiasi condizione di carico.

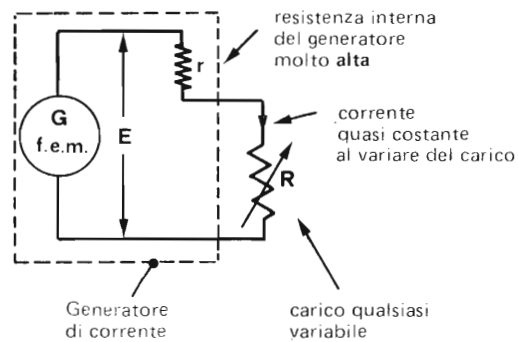
Per arrivare a questo occorre una

Con una resistenza interna molto bassa si hanno modeste cadute di tensione al variare del carico e quindi la tensione di uscita resta sensibilmente costante.

Il principio di reciprocità è espresso anche in 10.21 dove si nota che una tensione V genera una corrente $I = \frac{V}{R}$ e che una corrente I genera una tensione $V = RI$

GENERATORE DI CORRENTE

Non è facile immaginare un generatore di corrente.

Da un generatore di corrente noi chiediamo una corrente costante (nei limiti del possibile) in qualsiasi condizione di carico.

Per arrivare a questo occorre una

Con una resistenza interna molto alta si hanno modeste variazioni di corrente al variare del carico e quindi la corrente di uscita resta sensibilmente costante.

Per compensare la forte caduta di tensione è necessario generare un alta forza elettromotrice.

Per completare il concetto di reciprocità si usa immaginare un effettivo

GENERATORE DI CORRENTE COSTANTE

con la sua alta resistenza interna in parallelo

$E = V + v$

$v = r\,IR$

$I = I\,R + i$

$i = \frac{V}{r} = \frac{R\,i\,R}{r}$

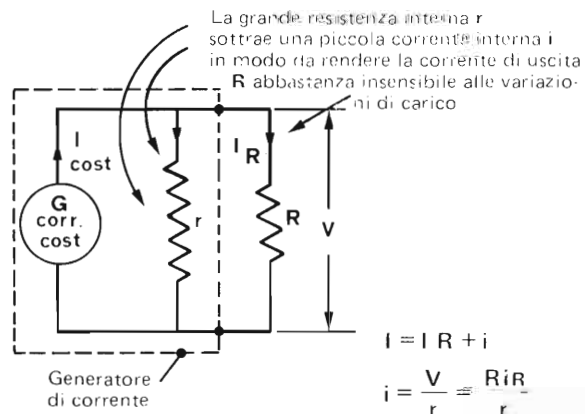
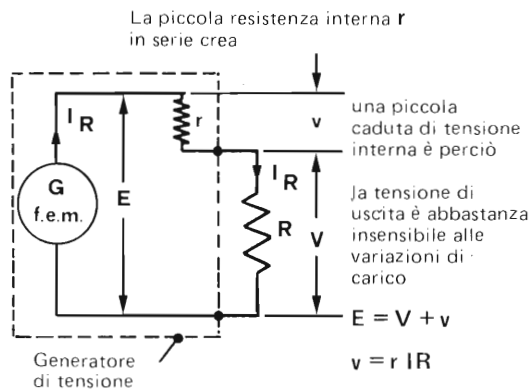



DIAGRAMMA GENERALE DI FUNZIONAMENTO DI UN GENERATORE DI F.E.M.

Per studiare il comportamento di un generatore di forza elettromotrice si sottopone il generatore in esame a varie tensioni provenienti da un altro generatore.

Si fanno variare queste tensioni in modo che esse si presentino ora positive ora negative; ora maggiori, ora minori della f e m del generatore in esame.

Si annotano i vari valori della tensione applicata ed i corrispondenti valori di corrente.
Con le coppie di valori (tensione e corrente) si costruisce un diagramma che commenteremo;

SCHEMA DEL CIRCUITO

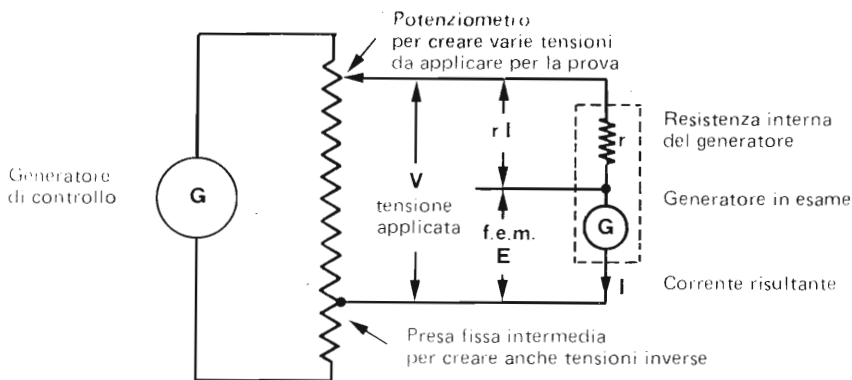



DIAGRAMMA DI FUNZIONAMENTO

I corrente

Caratteristica di funzionamento

condizioni di corto circuito $V = O$, $I_o = \frac{E}{r}$

I_o

In questo quadrante la tensione applicata è invertita rispetto alla f e m. del generatore la corrispondente corrente aumenta oltre il valore di corto circuito

$V < O$
$I > I_o$

In questo quadrante avviene la scarica normale del generatore in esame
Questa è la **zona di lavoro** quando esso alimenta da solo un carico (vedi pag. seguente)

P — Un punto di lavoro qualsiasi e corrispondenti condizioni di lavoro

$O < V < E \quad O < i < i_o$

corrente di lavoro corrispodente

condizioni a circuito aperto $V = E$, $I = O$

O V E V tensione applicata

caduta di tensione $r\,I$ interna

una tensione di lavoro

f e m del generatore in esame

corrente di carica corrispondente

Equazione di funzionamento

f.e.m. costante — tensione applicata (variabile) indipendente)

$$i = \frac{E - V}{r}$$

corrente (variabile indipendente) — resistenza interna (costante)

una tensione di carica

Condizioni di carica $V > E$, $I < O$

In questo quadrante sono rappresentate le condizioni di carica

CARATTERISTICA DI LAVORO DI UN GENERATORE DI F.E.M.

Combinando sullo stesso diagramma la caratteristica del generatore e quella del carico si possono ricavare concetti molto interessanti.

SCHEMA DEL CIRCUITO

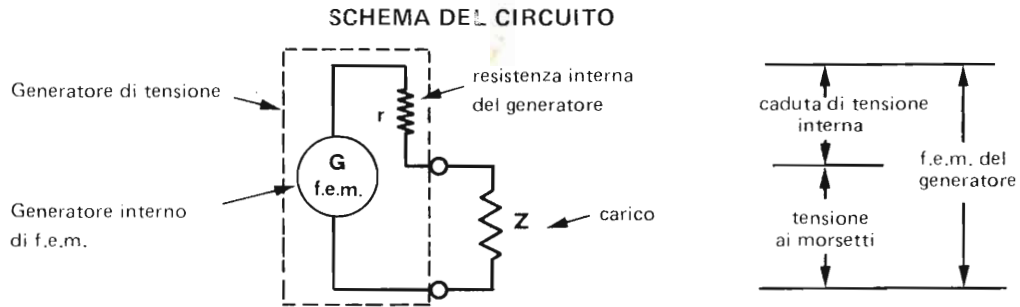
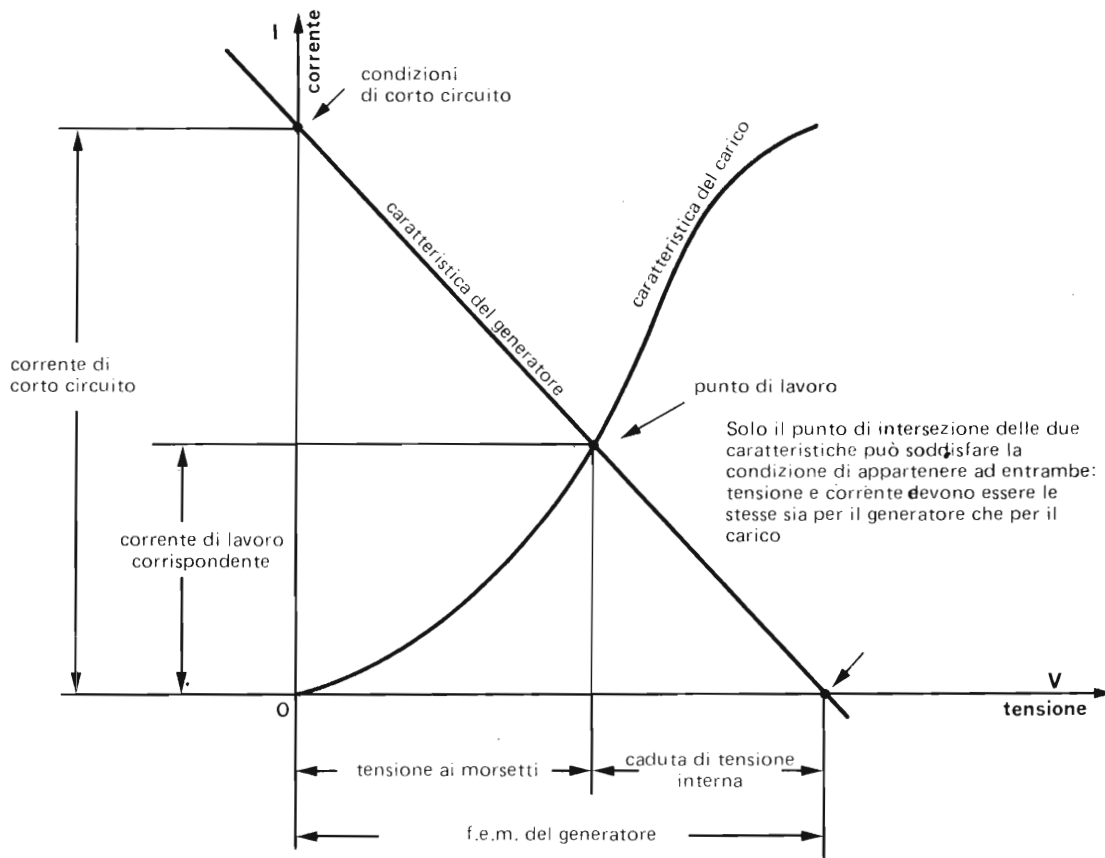



DIAGRAMMA DI LAVORO — Del diagramma illustrato nella pagina precedente si esamina solo il quadrante riguardante la **zona di lavoro**

Commento - La tensione di lavoro per un dato generatore dipende dal carico

Se si vuole che essa vari poco al variare del carico, occorre munirsi di un generatore che abbia una resistenza interna molto bassa, cioè

cioè ancora
- una corrente di corto circuito molto alta.
- una caratteristica del generatore molto piatta (quasi orizzontale)

Paragrafo 11.2

TENSIONE COSTANTE E CORRENTE CONTINUA

Indice degli argomenti e delle pagine

Fonti di informazione

POTENZIALE

E' il livello energetico a cui una determinata **quantità di elettricità** si trova rispetto ad altre per varie cause:

- sfregamento elettrostatico, atmosferico, ecc.
- azione elettromeccanica (macchine elettriche)
- azione elettrochimica (batterie, ecc.)

Il potenziale può essere paragonato al livello a cui una **quantità di acqua** si trova rispetto ad altre per varie cause:

- evaporazione solare e ricondensazione in quota
- innalzamento con macchine idrauliche (pompe)

MODIFICA DEI POTENZIALI

I livelli energetici delle cariche (quantità di elettricità) possono essere modificati per sfruttare le proprietà in vari modi:

a) – Mediante trasformazione di altra energia non elettrica, come già detto.

- chimicamente (batterie, accumulatori, ecc.)
- elettromeccanicamente (macchine elettriche)

b) – Mediante il controllo della corrente elettrica,

- elettricamente ed elettronicamente (elementi passivi percorsi da corrente)
- elettromagneticamente (trasformatori)

Il sistema elettronico di controllo di una corrente elettrica è molto usato in elettronica e sul retro è dato un paragone idraulico.

In altre parole: inserire un resistore e in un circuito attraversato da corrente è un sistema molto comodo e semplice per provocare una differenza di potenziale.

$$V = R \quad I$$

Così come è molto semplice provocare un dislivello in un fiume inserendovi un ostacolo (sbarramento).

DISTINZIONI

Vediamo di distinguere questi quattro termini che sembrano sinonimi.

Potenziale: (già detto) il livello energetico di una carica rispetto a un riferimento.

Differenza di potenziale: due punti appartenenti allo stesso circuito posseggono fra di loro una differenza di potenziale rispetto a un riferimento comune (come la differenza di altezza di due montagne calcolata riferendo ciascuna al livello del mare).

Tensione: è generalmente la differenza di potenziale provocata ai capi di un resistore in un circuito percorso da corrente.

Caduta di tensione: è la perdita di potenziale creata da un resistore in un circuito percorso da corrente.

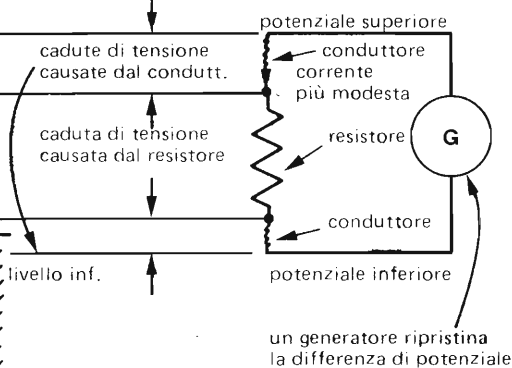
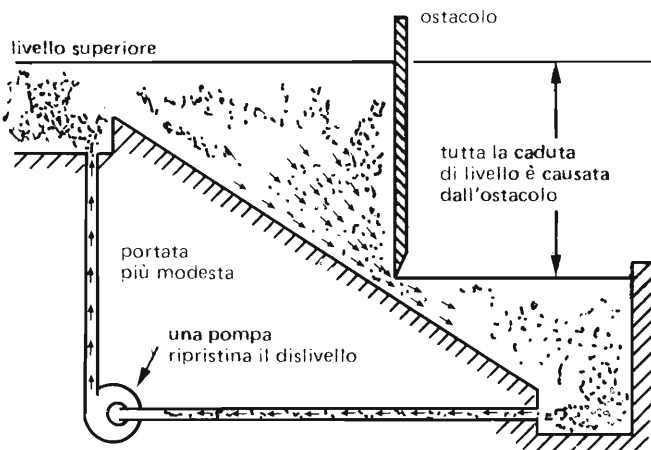
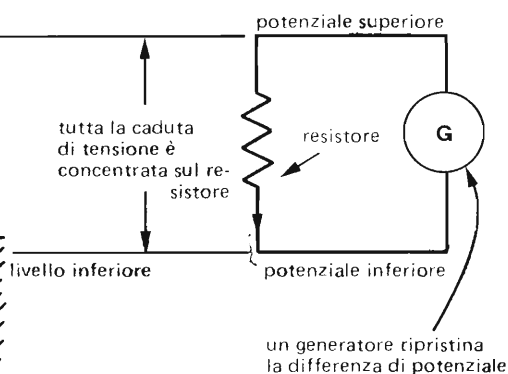
Spesso nel gergo si confondono l'uno con l'altro senza commettere gravi errori.

UNITA' DI MISURA

L'unità di misura di queste grandezze è il **volt** e corrisponde all'energia potenziale di un joule della carica di un coulomb.

CONCETTO DI CADUTA DI TENSIONE – PARAGONI IDRAULICI

La corrente idraulica scorre dal livello superiore all'inferiore. La distribuzione dei livelli superficiali e il valore della portata dipendono dalla natura del canale e dalla presenza di ostacoli.

La corrente elettrica scorre dal potenziale superiore all'inferiore. La distribuzione dei potenziali e il valore della corrente dipendono dalla natura del conduttore e dalla presenza di resistori.

SEMPLIFICAZIONI

QUANTITA' DI ELETTRICITA' – UNITA' DI MISURA

Fin dalla sua scoperta l'elettricità è stata immaginata come un fluido e la corrente elettrica come questo fluido in movimento.

Come per i fluidi si era preso il chilogrammo (o il litro) per stabilire una quantità di materia, così per l'elettricità si è considerato il

COULOMB (simbolo **C**)

come quantità di elettricità (simbolo **Q**), v. 10.11-2.

CORRENTE ELETTRICA – UNITA' DI MISURA

Una corrente elettrica (simbolo **I**), dunque consiste nel passaggio di una certa quantità di elettricità attraverso un conduttore nell'intervallo di tempo di un minuto secondo e si scrive:

$$\frac{\textbf{coulomb}}{\textbf{secondo}}$$ (simbolo **C/sec**)

Questa grandezza si chiama

AMPERE (simbolo **A**)

CORRENTE NON SIGNIFICA VELOCITA' DELLE CARICHE

Non si deve confondere la corrente con la velocità delle cariche elettriche così come non si confonde la portata di un corso d'acqua in kg/sec. (o litri/sec) con la velocità del liquido stesso (in metri/sec).

Una **stessa portata** in un corso d'acqua si può ottenere mediante:

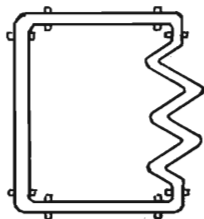
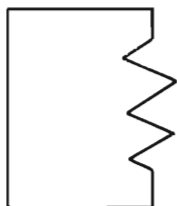
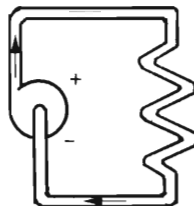
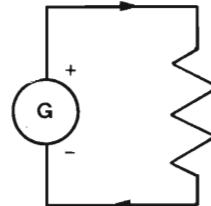
- un canale largo e poco pendente (velocità bassa)
- un canale stretto e molto pendente (velocità alta)

Elettricamente è la stessa cosa.

Una **stessa corrente elettrica** in un resistore si può ottenere mediante:

- un resistore di grande sezione con applicata una bassa tensione (cariche lente)
- un resistore di piccola sezione con applicata un'alta tensione (cariche veloci)

PARAGONI FRA CORRENTE D'ACQUA E CORRENTE ELETTRICA

La presenza di elettroni in un conduttore può essere paragonata alla presenza di acqua in una tubazione

In questa tubazione c'è acqua ferma

In questo circuito non circolano elettroni

Per mettere in moto l'acqua bisogna inserire una pompa (generatore di pressione)

Per far circolare gli elettroni bisogna inserire un generatore di tensione

Se la differenza di pressione fra ingresso e uscita della pompa è costante, in questa tubazione l'acqua circola a portata costante (cioè i kg/sec oppure i litri/sec sono uguali in tutti i punti)

Per via delle differenti dimensioni dei condotti si avranno differenti velocità e perciò anche differenti cadute di pressione.

Se la differenza di potenziale ai capi del generatore è costante, in questo circuito circola la stessa corrente (cioè i coulomb/sec = ampere sono uguali in tutti i punti)

Per via delle diverse resistenze inserite, si avranno differenti velocità e perciò anche differenti cadute di tensione.

Paragrafo 11.3

TENSIONE VARIABILE UNIDIREZIONALE

Indice degli argomenti e delle pagine

APPLICAZIONI E VERIFICA DI TENSIONI VARIABILI UNIDIREZIONALI

E' un caso frequente in elettronica.

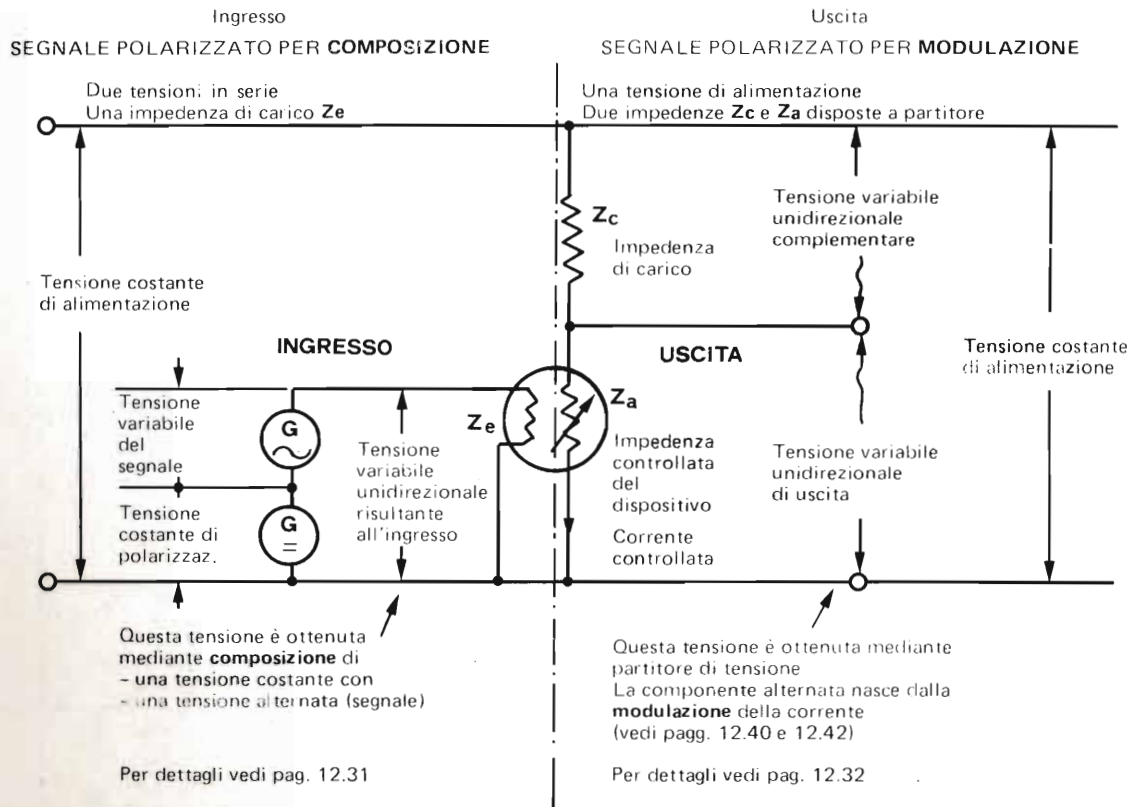
Una tensione che vari continuamente di valore senza cambiare di polarità, si dice variabile unidirezionale.

Essa può essere sempre considerata in continua o più una tensione alternata.

Per questo fatto viene chiamata anche tensione alternata polarizzata o segnale polarizzato.

A titolo di esempio, i quadripoli ad impedenza controllata (amplificatori ed altri) hanno:

- all'ingresso un segnale polarizzato per **composizione** cioè le due componenti vengono sommate di proposito:
  - la componente continua per far funzionare il dispositivo nel modo desiderato
  - la componente alternata per inserire nel dispositivo il segnale da manipolare
- all'uscita un segnale manipolato e polarizzato per **modulazione** di una corrente continua, cioé le due componenti si trovano sovrapposte inevitabilmente:
  - la componente continua come conseguenza del funzionamento prescelto del dispositivo
  - la componente alternata come risultato della manipolazione del segnale

I due casi si compendiano in questo schema.

Il dispositivo è sempre assolutamente passivo perché alimentato dalla tensione costante di alimentazione.

Quando però modula la corrente che lo attraversa è come se fosse lui stesso a generare la componente alternata di uscita.

N.B. – Questo concetto è molto importante e ricorre spesso in elettronica.

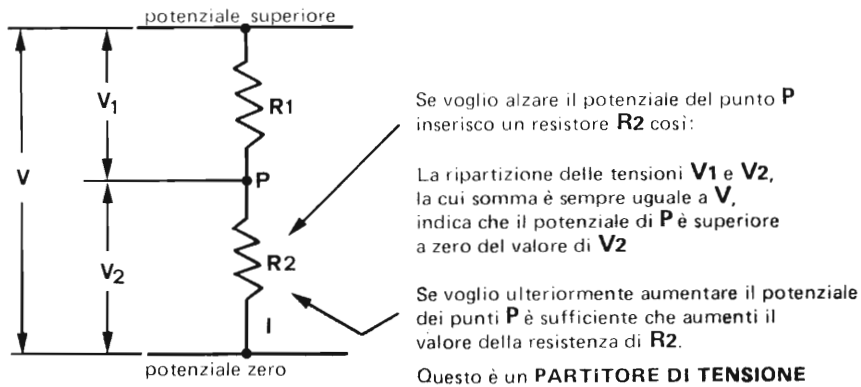
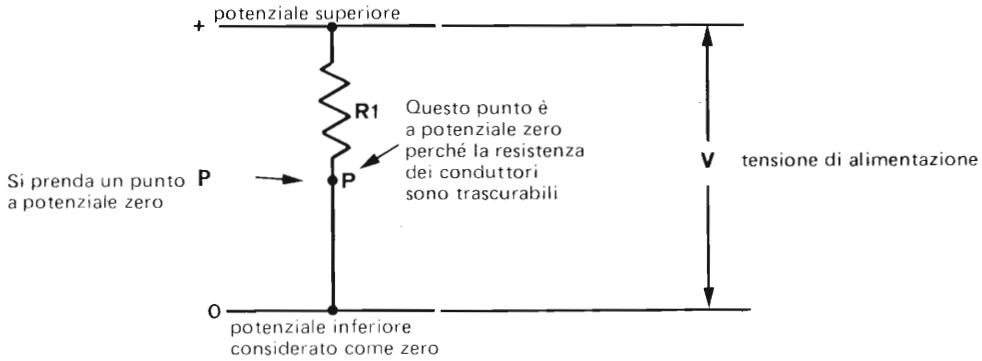
PARTITORE DI TENSIONE E POTENZIOMETRO

Insistiamo in questo concetto che è fondamentale nei circuiti elettronici.

Se voglio alzare il potenziale del punto **P** inserisco un resistore **R2** così:

La ripartizione delle tensioni **V1** e **V2**, la cui somma è sempre uguale a **V**, indica che il potenziale di **P** è superiore a zero del valore di **V2**

Se voglio ulteriormente aumentare il potenziale dei punti **P** è sufficiente che aumenti il valore della resistenza di **R2**.

Questo è un **PARTITORE DI TENSIONE**

ATTENZIONE PERO' ! :

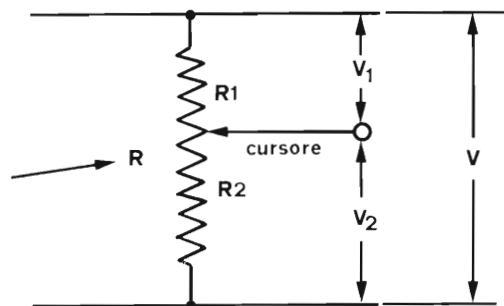
1) Man mano che aumenta **R2** la corrente **I** diminuisce
2) Il potenziale **P** (rispetto a zero) non potrà mai superare il potenziale superiore **V**
3) Al limite il potenziale di **P** potrà essere molto vicino al potenziale **V** solo quando **R2** sia molto maggiore di **R1** (**R2** >> **R1**)
4) In questo caso però la corrente **I** diventa piccolissima (infinitesima)
5) Per evitare questo si può diminuire **R1** man mano che aumenta **R2** affinché la resistenza totale **R1** + **R2** resti costante
6) Abbiamo scoperto il **POTENZIOMETRO**

$$V2 = \frac{R2}{R1 + R2} V$$

$$I = \frac{V}{R1 + R2}$$

Infatti esso è costituito da un unico resistore **R** provvisto di un cursore che striscia sulla sua superficie, dividendo così la resistenza **R** del resistore in due **R1** ed **R2**

$$R = R1 + R2$$

R
R1
R2
cursore
V_1
V_2
V

Dettagli, forme e strutture in altra parte da trattare.

(SEZ. 2)

TENSIONE RISULTANTE DALLA COMPOSIZIONE DI ALTERNATA E CONTINUA

Questo modo di sommare

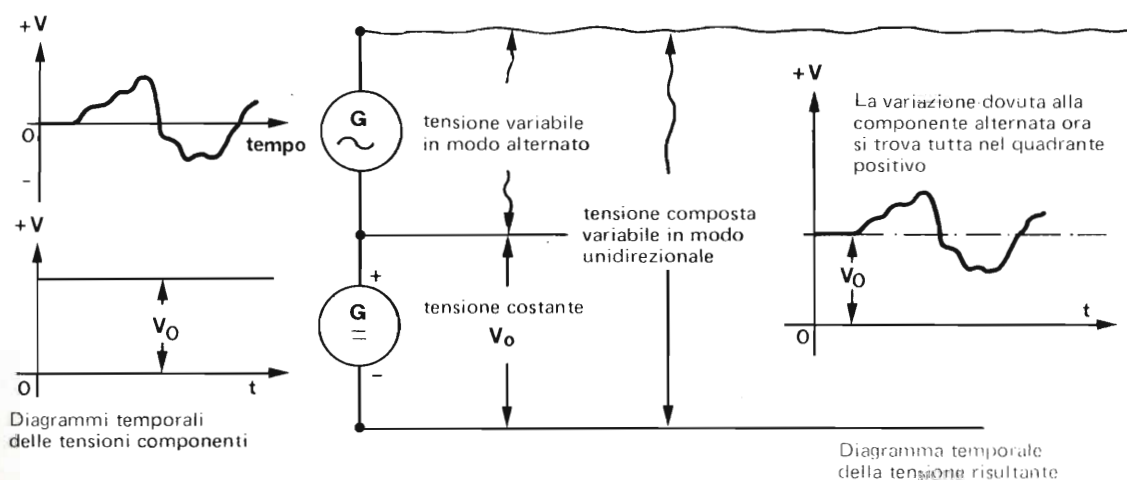
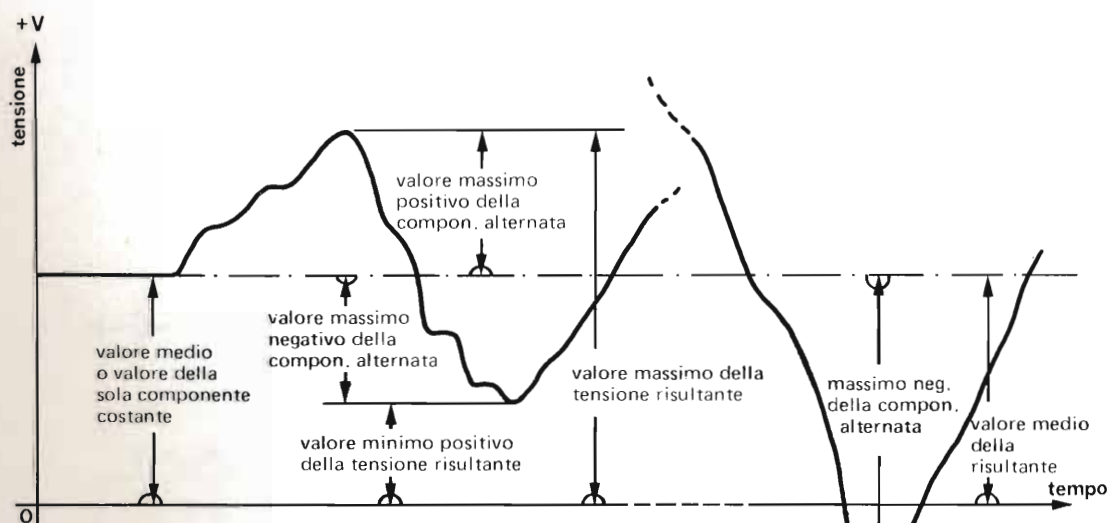
una tensione alternata con una tensione continua

è detto anche polarizzazione di una tensione alternata e la risultante si chiama segnale polarizzato.

Per effettuare la composizione, basta semplicemente collegare in serie al generatore del segnale un generatore di tensione costante.

Se il collegamento è fatto col polo positivo, l'escursione del segnale sarà unidirezionale dalla parte positiva, sempre che l'ampiezza non superi il valore della componente continua.

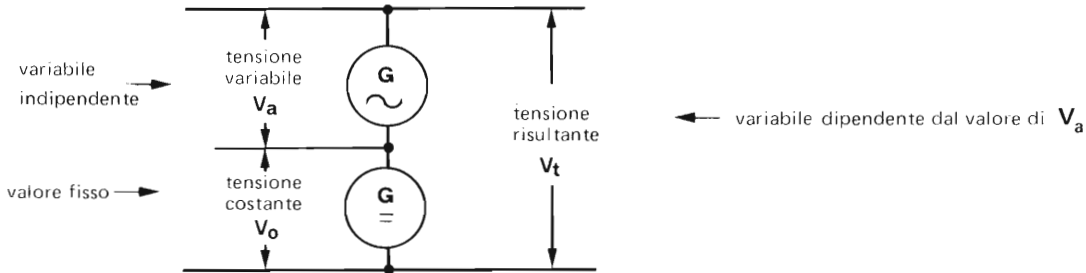
Diagrammi temporali delle tensioni componenti

Diagramma temporale della tensione risultante

ANALISI DEL DIAGRAMMA TEMPORALE DELLA TENSIONE RISULTANTE

N.B. - Il valore medio della risult. coincide con il valore della compon. costante.
- I valori della comp. alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risult. partono dalla linea delle ascisse.

Se si vuole che la tensione risultante rimanga sempre unidirezionale e indispensabile che essa non vada mai al di sotto della linea delle ascisse. Se ciò si verificasse, significa che in quel tratto la tensione si inverte di polarità.

In questo caso è indispensabile che il valore massimo negativo della componente alternata non superi il valore medio (o valore della sola componente continua).

DIAGRAMMI DIMOSTRATIVI SULLA COMPOSIZIONE

Riprendiamo il circuito illustrato a pag. 1.

Con questa disposizione è inequivocabile che V_t cresca al crescere di V_a.
Infatti dalla figura qui sopra è chiaro che

$$V_t = V_o + V_a$$

I diagrammi che esprimono questa relazione di V_t in funzione di V_a sono i seguenti:

A) Per V_o positivo

linea dei valori composti

Situazione per qualunque valore positivo di V_a (V_t sempre positivo)

Situazione per quei valori negativi di V_a compresi fra O e V_o (V_t sempre positivo)

$+V_t$ $V_t = V_o$ $+V_a$ $V_a = 0$ $+V_t$ linea del valore V_o $+V_o$ $-V_a$ $V_t = 0$ $+V_t$ $+V_o$ O $+V_a$ $-V_t$ $-V_a = V_o$ $-V_a$ $+V_a$

Situazione per quei valori negativi di $V_a > V_o$ (V_t sempre negativo)

B) Per V_o negativo

linea dei valori composti

Situazione per quei valori positivi di $V_a > V_o$ (V_t sempre positivo)

Situazione per quei valori positivi di V_a compresi fra O e V_o (V_t sempre negativo)

$+V_t$ $V_t = 0$ $+V_t$ $+V_a$ V_t $+V_a$ $V_a = V_o$ $-V_o$ $-V_o$ linea del valore $-V_o$ $-V_t$ $V_t = -V_o$ $V_a = 0$ $-V_a$ $+V_a$

Situazione per qualunque valore negativo di V_a (V_t sempre negativo)

TENSIONE VARIABILE UNIDIREZIONALE RISULTANTE DA MODULAZIONE

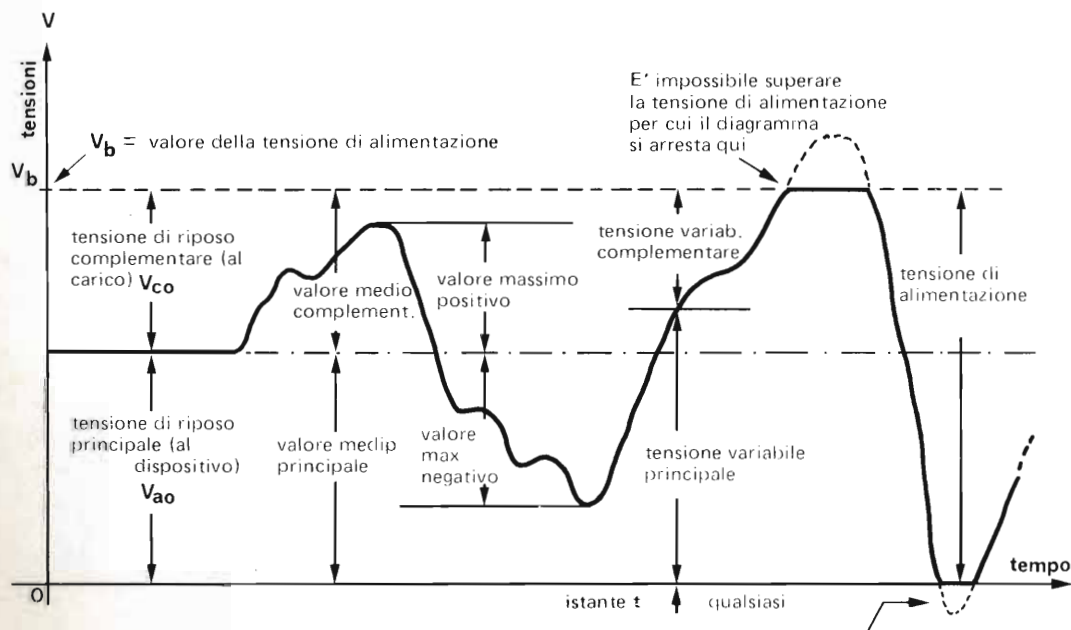
E' il caso molto frequente che si incontra, specie negli amplificatori, per ricavare un segnale manipolato da un dispositivo ad impedenza controllata.

Esaminiamo ora il solo circuito di uscita del dispositivo a impedenza controllata (partitore di tensione controllata).

Si possono segnare le polarità finché:
- il circuito sia alimentato a tensione costante
- le impedenze siano elementi passivi
- Perciò è impossibile l'inversione di tensione

Entrambe le tensioni sono di tipo variabile unidirezionale e le rispettive componenti costanti sono: V_{co} V_{ao}

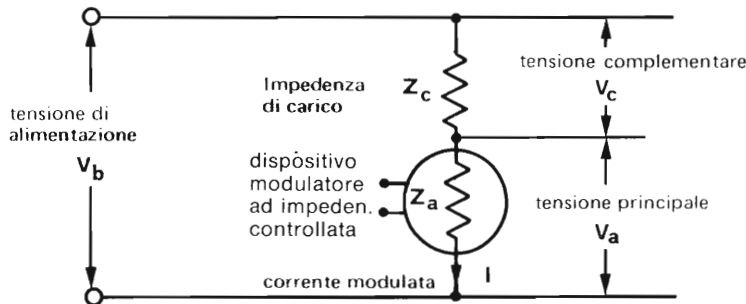
Diagrammi temporali delle due tensioni che si formano ai tre capi del partitore. La somma della tensione principale più la tensione complementare è sempre uguale alla tensione di alimentazione.

DIAGRAMMA SINOTTICO DELLA SITUAZIONE

N.B.
- il valore medio della risultante coincide con il valore della componente costante.
- i valori della componente alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risultante partono dalla linea delle ascisse.

E' impossibile questo debordamento perchè significherebbe un'inversione di polarità della tensione di alimentazione.

Suggerimento: confrontare con 11.42 - 1

DIAGRAMMA ILLUSTRATIVO SULLA MODULAZIONE DI CORRENTE CONTINUA

Riprendiamo il circuito illustrato a pag. 1.

Con questa disposizione,
solo la tensione complementare V_c cresce col crescere della corrente e viceversa; pertanto

la tensione principale V_a diminuisce col crescere della corrente, perché

tensione principale → $V_a + V_c = V_b$ ← tensione di alimentazione (costante)
tensione complementare ↑

e perciò

$$V_a = V_b - V_c$$

Vediamo ora e commentiamo il diagramma che esprime come varia la tensione principale in funzione della corrente e viceversa (caratteristica di uscita).

Equazione di funzionamento

$$I = \frac{V_b - V_a}{Z_c}$$

Osservare l'analogia con quella di un generatore (v. 11.03-1)

Paragrafo 11.4

CORRENTE VARIABILE UNIDIREZIONALE

Indice dei paragrafi e delle pagine

GENERAZIONE DI CORRENTI VARIABILI UNIDIREZIONALI

E' un caso molto frequente in elettronica.

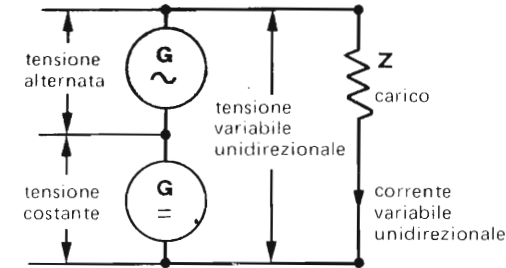
Si ottiene una **corrente variabile unidireazionale** quando:

– si alimenta un carico con una tensione variabile unidirezionale
– si modula la corrente di un circuito alimentato a tensione costante, modificandone l'impedenza.

Una corrente variabile unidirezionale può essere sempre composta da due:

una corrente continua + una corrente alternata (segnale) di ampiezza max. inferiore alla continua.

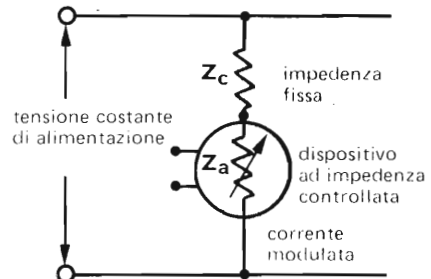
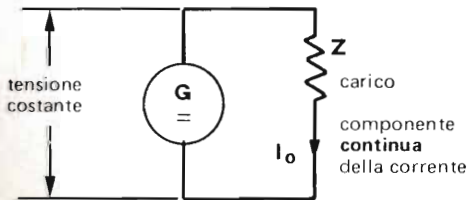
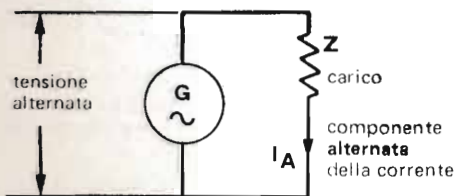
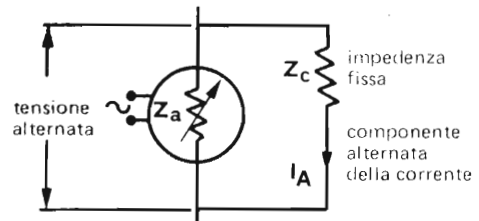
Una corrente modulata è sempre unidirezionale se alimentata a tensione costante.
Esaminiamo entrambi i casi.

CARICO ALIMENTATO DA TENSIONE VARIABILE UNIDIREZIONALE

La corrente variabile unidirezionale può essere considerata come risultante delle due seguenti:

A) Una **componente continua** I_o corrispondente a quella che si stabilirebbe se il generatore di tensione **costante** fosse il solo ad alimentare il carico

B) Una **componente alternata** I_A corrispondente a quella che si stabilirebbe se il generatore di tensione **alternata** fosse il solo ad alimentare il carico

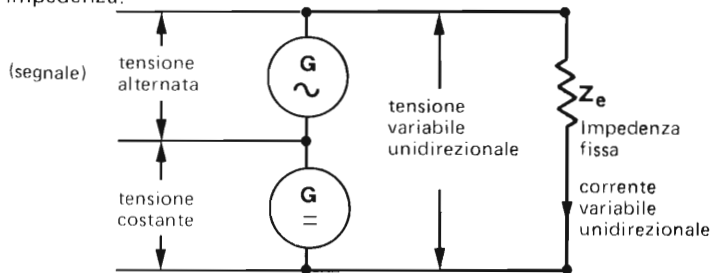
Per dettagli vedi 11.41 - 2

CORRENTE MODULATA E ALIMENTATA A TENSIONE COSTANTE

La corrente modulata può essere considerata come risultante delle sue seguenti:

A) Una **componente continua** I_o corrispondente al valore di riposo . . .

B) Una **componente alternata** I_A "generata" attorno al valore I_o da una corrispondente tensione alternata **chiusura** sull'impedenza fissa del partitore

Attenzione. - Questo concetto è molto importante e ricorrerà spesso

Per dettagli vedi 11.42

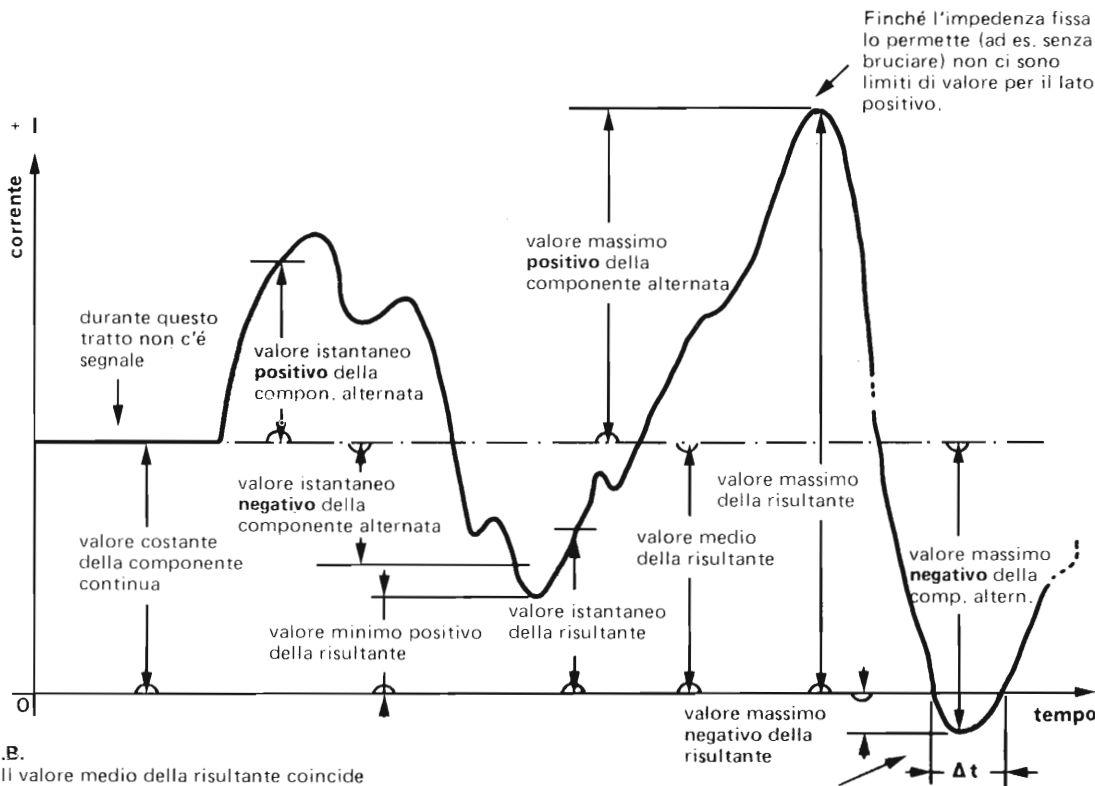
Conclusioni: $I = I_o + I_A$

CORRENTE RISULTANTE DA TENSIONE UNIDIREZIONALE

La corrente è quella che si stabilisce per la legge di Ohm a causa dell'effetto di due tensioni in serie chiuse su una impedenza.

Situazioni di questo genere si riscontrano nei transistors e in quei dispositivi a **bassa impedenza di ingresso.**

Esaminiamo un

DIAGRAMMA TEMPORALE DI UNA CORRENTE VARIABILE UNIDIREZIONALE

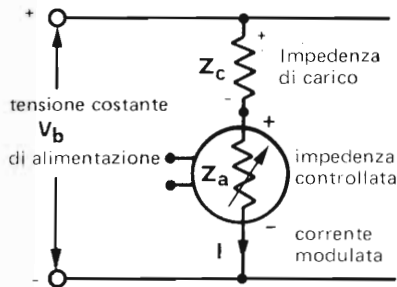
risultante da composizione.

N.B.
- Il valore medio della risultante coincide con il valore costante della componente continua.
- I valori della componente alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risultante partono dalla linea delle ascisse.

Da questa parte della linea delle ascisse, e per la durata di questo intervallo di tempo, la direzione della corrente si inverte

(Il valore massimo negativo della componente alternata è maggiore della componente continua).
A rigore di termini in questo caso non si può parlare di corrente unidirezionale.
Inoltre una simile situazione può non essere tollerata da alcuni dispositivi come diodi, transistors, ecc. che modificano bruscamente la loro impedenza.

GENERATORE DI CORRENTI VARIABILI UNIDIREZIONALI PER MODULAZIONE

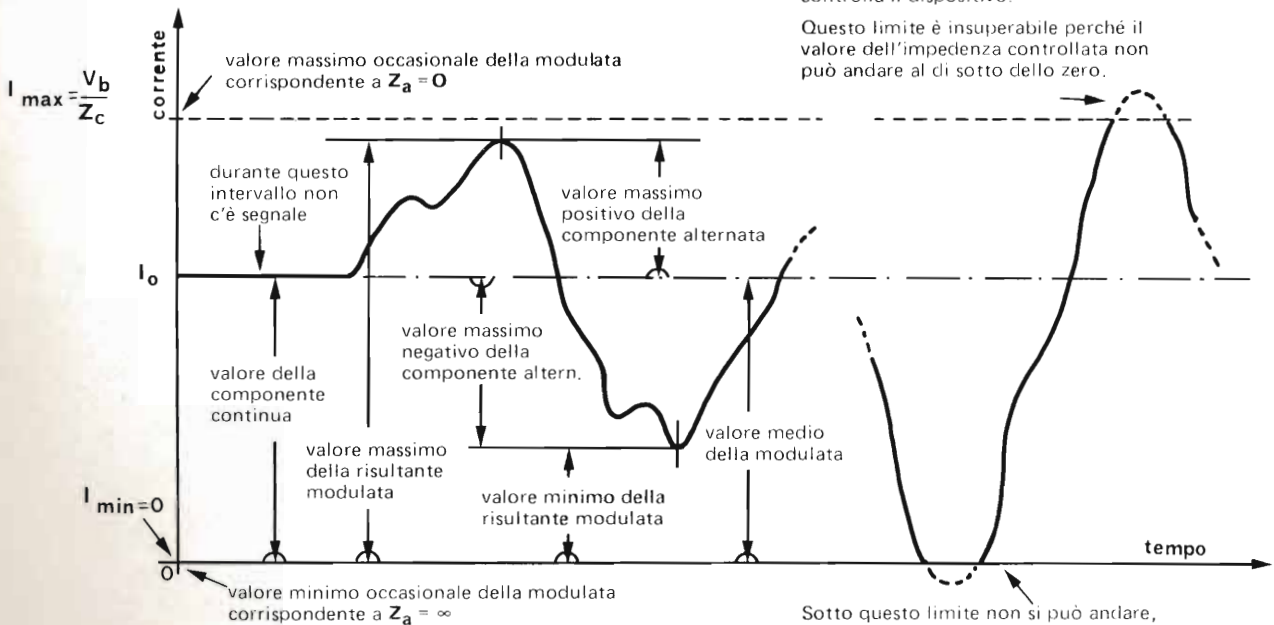
Modulare una corrente continua significa stabilire una corrente continua e poi farla variare con **qualsiasi artificio sopra e** sotto il suo valore iniziale che prende il nome di valore medio.

Nel **nostro caso** la corrente è quella che si stabilisce per la legge di Ohm attraverso due impedenze disposte a partitore di tensione.

Si possono segnare le polarità finché
- il circuito sia alimentato a tensione costante
- **le impedenze** siano elementi passivi (**cioè non** siano generatori né reattori)
- **Perciò** è impossibile l'inversione di corrente.

Se questa resistenza ha un valore fisso e costante, la corrente nel circuito è continua unidirezionale e costante.
Se questa resistenza varia anche la corrente varia.

Attenti ai limiti oltre ai quali il segnale manipolato non è più fedele al segnale d'ingresso che controlla il dispositivo.

Questo limite è insuperabile perché il valore dell'impedenza controllata non può andare al di sotto dello zero.

DIAGRAMMA DELLA CORRENTE MODULATA

Sotto questo limite non si può andare, perché a questo punto l'impedenza ha già un valore infinito.
(E' come se aprisse il circuito)

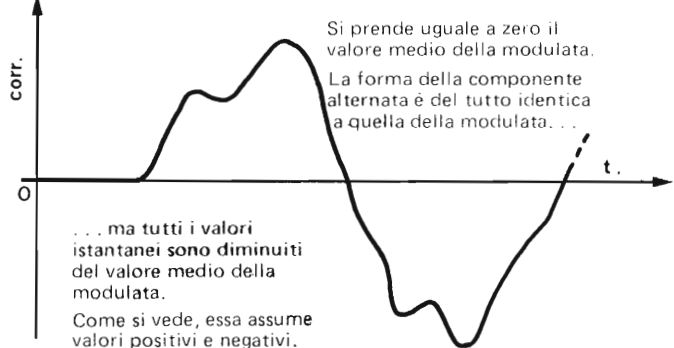
N.B.
- il valore medio della modulata coincide con il valore della componente continua.
- I valori della componente alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risultante modulata partono dalla linea delle ascisse.

DIAGRAMMA DELLA SOLA COMPONENTE ALTERNATA

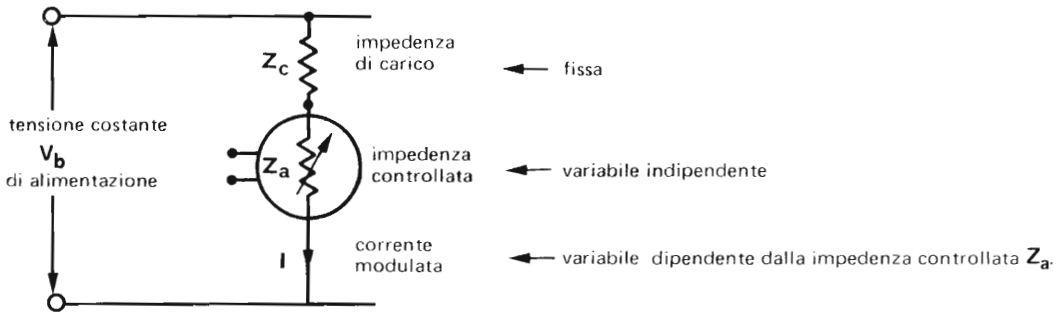
Si prende uguale a zero il valore medio della modulata.

La forma della componente alternata è del tutto identica a quella della modulata. . .

. . . ma tutti i valori istantanei **sono diminuiti** del valore medio della modulata.

Come si vede, essa assume valori positivi e negativi.

Suggerimento:
Confrontare con 11.33-1

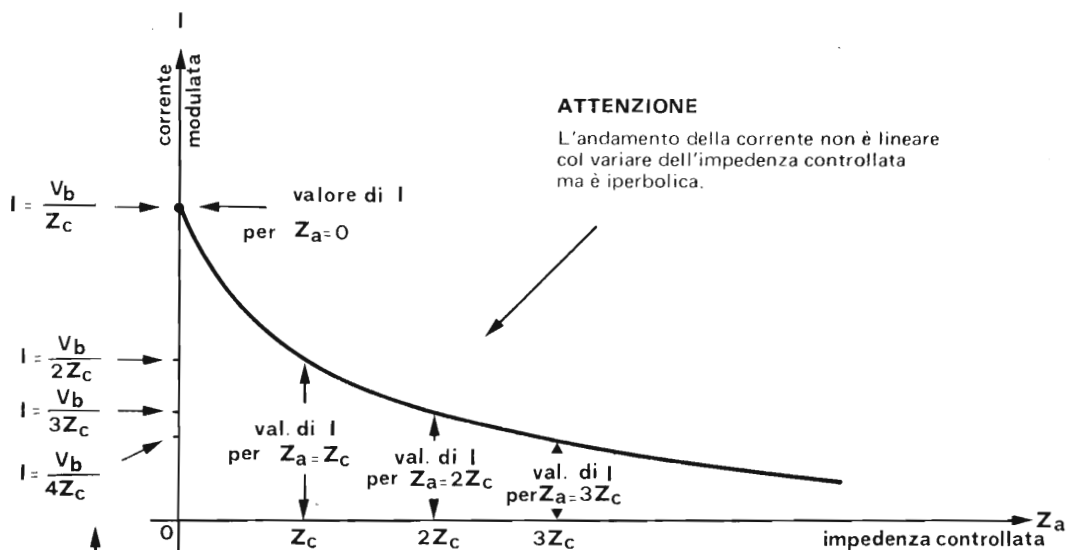
COME VARIA LA CORRENTE AL VARIARE DELL'IMPEDENZA CONTROLLATA

Riprendiamo il circuito illustrato a pag. 1

E' facile costruire la relazione fra i e Z_a con la legge di Ohm.

corrente modulata (variabile dipendente) → $I = \frac{V_b}{Z_c + Z_a}$ ← tensione di alimentazione diviso la somma delle due impedenze in serie

Z_c: impedenza di carico (fissa)

Z_a: impedenza controllata (variabile indipendente)

Il diagramma che esprime questa relazione di I in funzione di Z_a è il seguente

Paragrafo 11.5

TENSIONE ALTERNATA

Indice dei paragrafi e delle pagine

PARAGONE IDRAULICO DI TENSIONE ALTERNATA

Fra tutti i tipi di tensione che si sono esaminati, la tensione alternata di qualsiasi forma è quella che viene più largamente sfruttata nelle apparecchiature elettroniche.

Spesso i profani ed i principianti si sorprendono nel venire a conoscenza che, ad esempio, in una radio solo la tensione di alimentazione e certe tensioni di polarizzazione sono costanti, mentre in qualsiasi altro punto dell'apparecchio sono presenti solo tensioni alternate o tensioni comunque variabili.

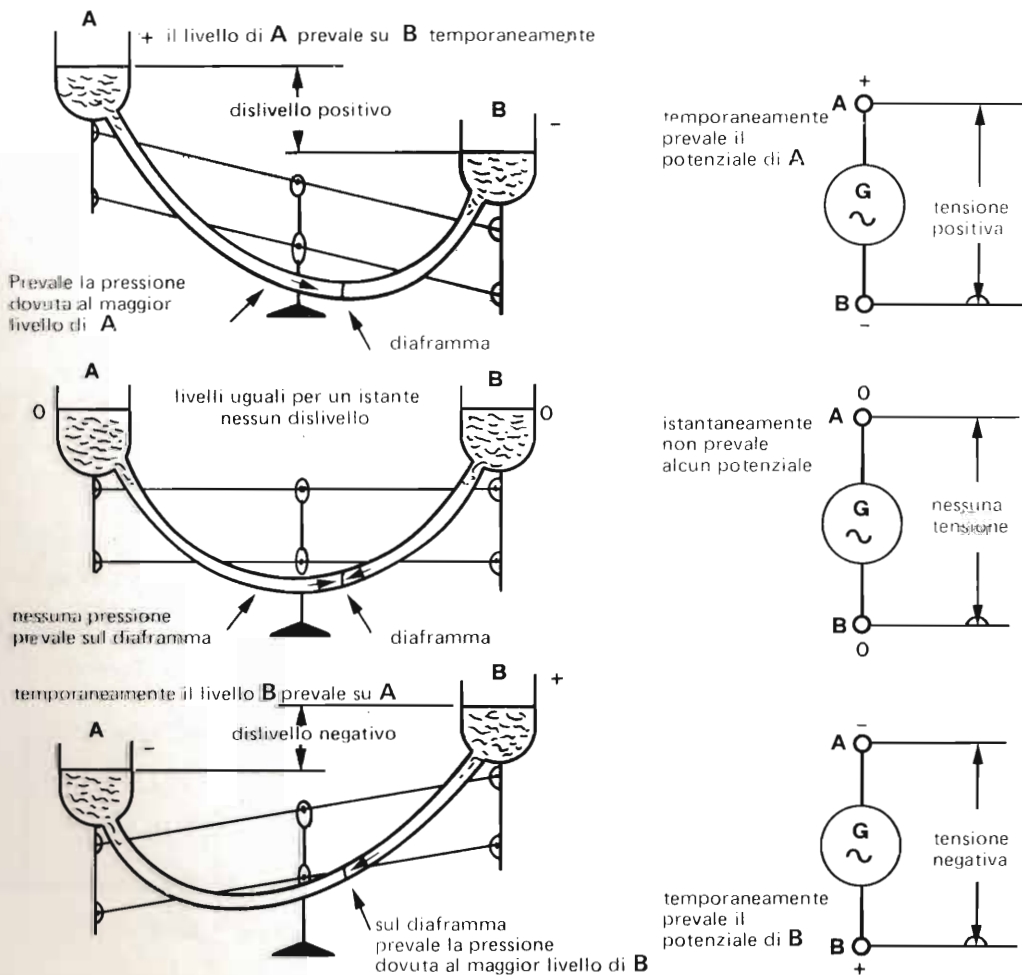
Si tenga presente che le radiazioni di qualsiasi tipo come la luce, il calore, il suono, sono fenomeni in cui sono presenti tensioni alternate di varia natura.

DEFINIZIONE (vedansi anche gli argomenti 10.4 e 10.5)

Per tensione alternata si intende una tensione che vari continuamente di valore nel tempo, invertendosi di polarità in modo tale da avere un valore medio uguale a zero.

Abitualmente si è portati ad intendere come tensione alternata la tensione sinoidale, ma non lasciamoci ingannare dalle comuni abitudini che sono legate al fatto che l'energia elettrica viene normalmente prodotta e distribuita sotto forma di tensione alternata sinoidale.

PARAGONI IDRAULICI

Questa tensione, che continua a cambiare di polarità, è paragonabile alla differenza alternata di pressione che si esercita sulle opposte facce di un diaframma che ostruisce una tubazione sottoposta ad alternati dislivelli di acqua.

VALORE EFFICACE IN GENERALE DI TENSIONI ALTERNATE

Sebbene il valore medio di una tensione alternata sia uguale a zero, non è zero il lavoro che essa compie quando viene utilizzata.

Infatti lo constatiamo ormai tutti i giorni nell'ambiente dove viviamo:

- la tensione alternata domestica e industriale è in grado di accendere le lampadine, produrre calore, azionare l'ascensore, gli apparecchi elettrodomestici, ecc.
- la tensione alternata che si produce per azionare un altoparlante è in grado di fargli emettere dei suoni.
- la tensione alternata che si genera per far funzionare un'antenna trasmittente è in grado di farle irradiare un'energia che è captabile dagli apparecchi riceventi.

Prima conclusione

La tensione alternata, quando è messa in grado di far sviluppare una potenza, è attiva sia durante la semionda positiva, sia durante la semionda negativa.

Seconda conclusione

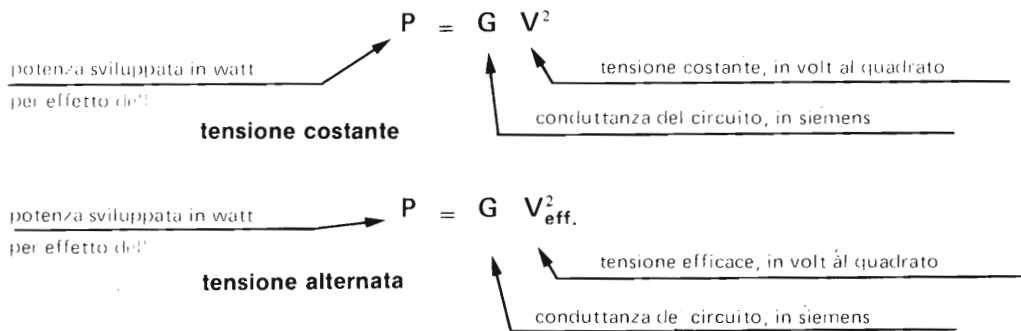
Si tratta di trovare un valore convenzionale di tensione, rispetto al valore massimo, in modo che a quel valore corrispondano gli stessi effetti termici ed energetici, prodotti da una tensione costante dello stesso valore.

Questo valore si chiamerà valore effettivo o valore efficace.

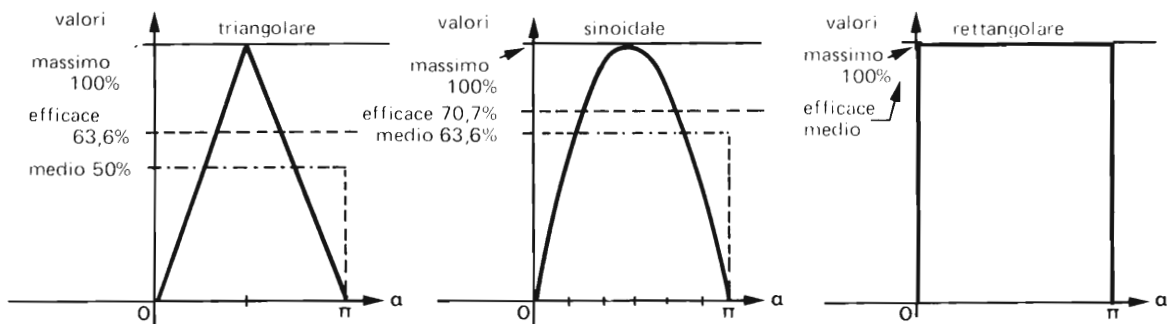
Avvertenza

Il valore efficace non corrisponde al valore medio di ogni semionda (vedi 10.58).

Criterio di scelta del valore efficace

Infatti, viste tutte queste premesse, si considererà l'espressione della potenza sviluppata da una tensione su un circuito.

Come si vede, per sviluppare la stessa potenza, nello stesso circuito, in corrente alternata, occorre lo stesso valore di tensione per la corrente continua purché per tensione alternata si intenda il suo valore efficace.

Il valore efficace è una frazione del valore massimo.

Questo valore dipende dalla forma di onda come si può vedere in questi esempi.

Suggerimento: confrontare questo con il foglio 11.61 per le analogie con la corrente.

TENSIONE ALTERNATA SINOIDALE EFFICACE – TENSIONE PICCO-PICCO

Tensione efficace

La forma sinoidale è molto importante per la tensione e la corrente alternate, perché ad essa si può fare riferimento per qualsiasi altra forma di onda. (Paragrafo 10.5)

E' bene pertanto fissare qui le idee sul concetto e la tensione efficace.

Normalmente, quando si dice ad esempio, comunemente:

"una tensione alternata da 300 volt"

si intende sempre una tensione alternata sinoidale del valore efficace **V = 300 volt.**

Nel caso della **forma sinoidale**, vediamo in che rapporto il valore efficace si trova con il valore massimo

tensione massima diviso tensione efficace $\frac{V_M}{V} = \sqrt{2} = 1{,}41$

Perciò la tensione massima → $V_M = 1.41\ V$ ← tensione efficace

e la tensione efficace → $V = \frac{1}{1.41} V_M = 0{,}707\ V_M$ ← tensione massima

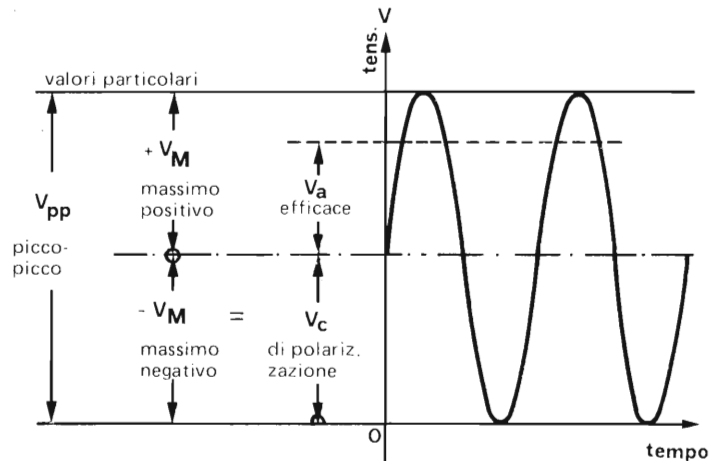
Pertanto quella tensione efficace $V = 300$ volt

raggiunge un valore massimo $V_M = 1{,}41 \times 300 = 424$ volt alternativamente positivo o negativo

Esercizio

Ricerchiamo il minimo valore di polarizzazione che dobbiamo aggiungere ad una tensione alternata affinché i valori assunti dalla tensione totale siano tutti positivi.

E' sufficiente che il valore di polarizzazione sia uguale o maggiore del valore massimo negativo. cioè

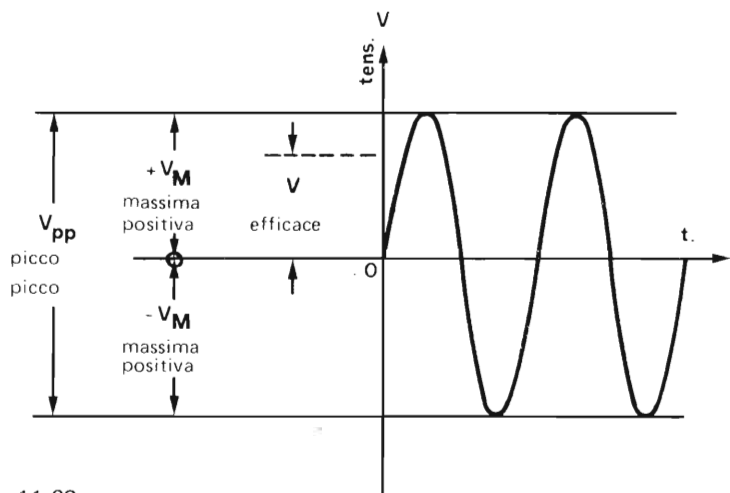
$$V_C = V_M = \sqrt{2}\ V_a$$

Tensione picco-picco

La tensione picco-picco di una oscillazione è molto importante in elettronica, poiché spesso è necessario conoscere il valore dell'escursione totale di una oscillazione.

Essa è uguale al doppio della tensione massima, cioè

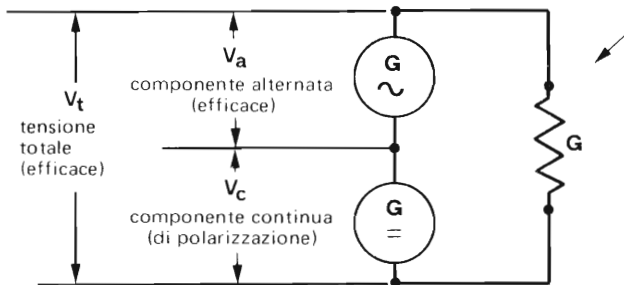
$$V_{pp} = 2\ V_M$$

e rispetto alla tensione efficace

$$V_{pp} = 2\sqrt{2}\ V$$

Suggerimento: confrontare questo foglio con 11.62

POTENZA ASSORBITA DA TENSIONE ALTERNATA POLARIZZATA

Esaminiamo un caso particolare dove il valore efficace di una componente alternata gioca un ruolo importante, quando si ha a che fare con tensioni costanti modulate.

Si osservi lo schema di circuito sotto riportato dove un generatore di tensione costante ed uno di tensione alternata in serie alimentano un circuito di conduttanza **G**.

Dimostreremo che, nel circuito rappresentato da questa conduttanza, si ha un assorbimento di potenza uguale alla somma delle potenze che ciascun generatore sarebbe chiamato a sviluppare, se intervenisse da solo sul circuito.

Questo concetto verrà sviluppato nel capitolo relativo a potenza ed energia.

$V_{Ma} = V_M + V_c$ $\quad V_M = \sqrt{2}\, V_a$

valori particolari

tensione V

V_{Ma} massimo assoluto

$+V_M$ massimo positivo (componente alternata)

V_a efficace (compon. altern.)

V_c medio della alternata o componente costante

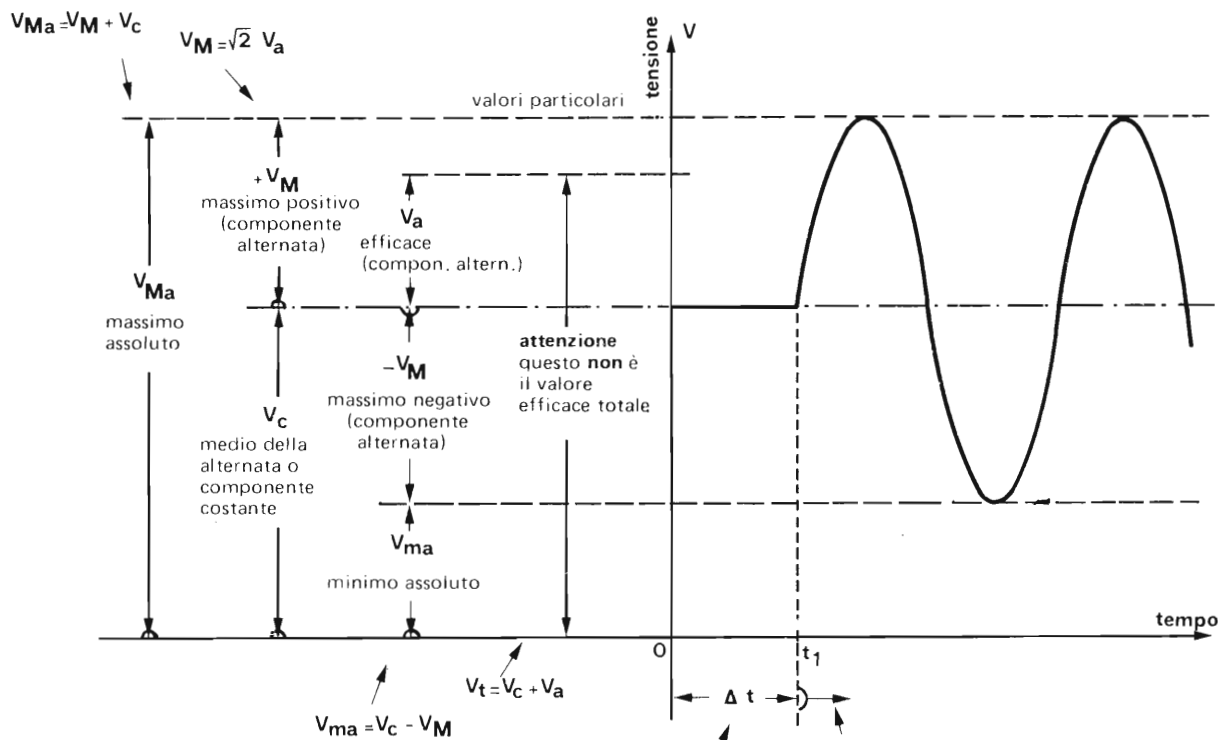
$-V_M$ massimo negativo (componente alternata)

attenzione questo **non** è il valore efficace totale

V_{ma} minimo assoluto

tempo

0 $\quad t_1$ $\quad \Delta t$

$V_{ma} = V_c - V_M$ $\quad V_t = V_c + V_a$

Entro questo intervallo di tempo agisce la sola componente costante

In questo caso la potenza assorbita dal circuito è:

$$P_c = G\, V_c^2$$

conduttanza del circuito in siemens — tensione costante in volt al quadratp

Da questo istante in poi la componente alternata agisce come per modulare la componente costante.
In questo caso la potenza assorbita dal circuito è:

$$P_t = G\,(V_a^2 + V_c^2)$$

conduttanza del circuito — tensione alternata in volt — valore medio in volt

Suggerimento: confrontare con il foglio 11.61

VALORE EFFICACE TOTALE DI TENSIONI IN SERIE

Oggetto: Avendo più generatori di tensione alternata in serie, il valore efficace della tensione totale, dipende dalla differenza di frequenza delle tensioni componenti e delle relative fasi.

Affrontiamo subito un problema che istintivamente può sembrare paradossale.

Il valore efficace di una tensione, che corrisponde alla somma algebrica di più tensioni di valore efficace noto, si calcola differentemente a seconda dei casi sottoelencati.

Caso 1

- Solo tensioni alternate aventi la stessa frequenza ed in fase fra loro.
- Solo tensioni continue. Esse sono infatti casi particolari di tensioni alla stessa frequenza (**f = o**) ed in fase (**φ = o**).

Regola 1

Il valore efficace della tensione risultante è uguale alla somma dei singoli valori efficaci, cioé:

$$V = V_1 + V_2 + \dots V_n$$

Caso 2

- Tensioni alternate aventi la stessa frequenza, ma fase diversa fra loro.

Regola 2

Il valore efficace della tensione risultante deriva dalla composizione vettoriale delle tensioni componenti.

Caso 3

- Tensioni alternate di frequenza diversa.
- Tensioni alternate di frequenza e fase diverse più una tensione continua (questa, come caso particolare di tensione alternata di frequenza **f = o** è di frequenza diversa di qualsiasi altra tensione alternata).

Regola 3

Il valore efficace della tensione risultante è uguale alla radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli valori efficaci delle tensioni componenti, cioè:

$$V = \sqrt{V_0^2 + V_0^2 + \dots V_n^2}$$

Questo problema può lasciare sconcertato lo studioso che si rifiutasse di accettare dogmaticamente le regole citate, come infatti é rimasto sconcentrato chi scrive.

L'approfondimento del problema ha portato ad uno studio che può essere oggetto di una piccola tesi separata, che però vogliamo risparmiare al lettore, per non portarlo troppo lontano dallo scopo che ci siamo prefissi.

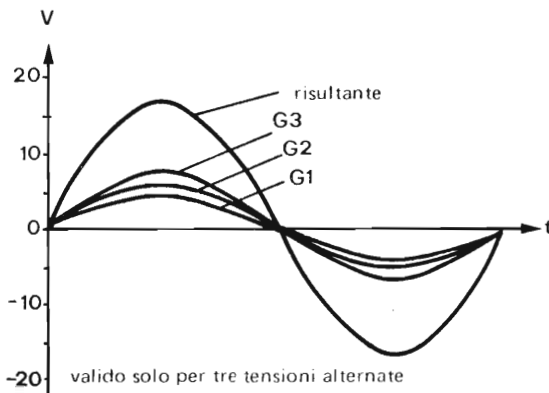
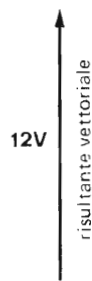
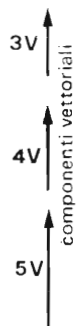
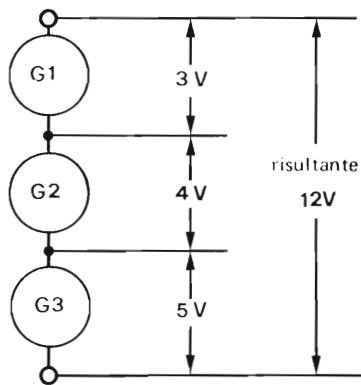
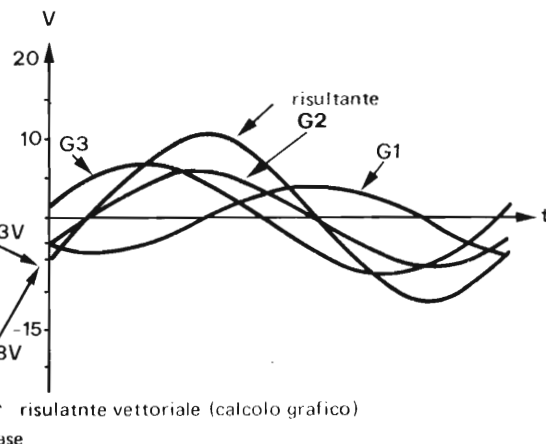
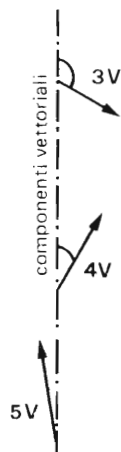
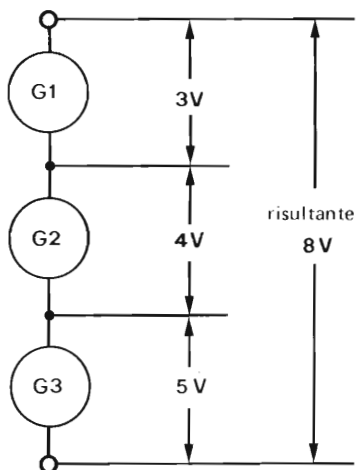
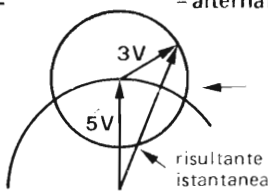
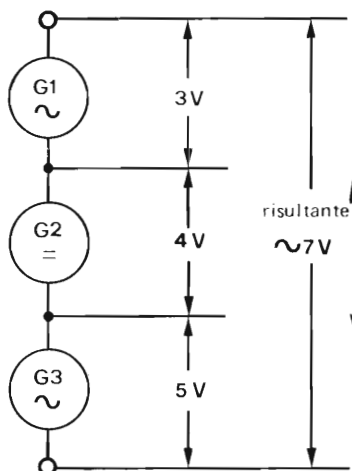
Ricordiamo solo che quello del valore efficace è legato al concetto di potenza e che quindi ci troviamo di fronte ad espressioni algebriche che hanno a che fare con il quadrato della tensione.

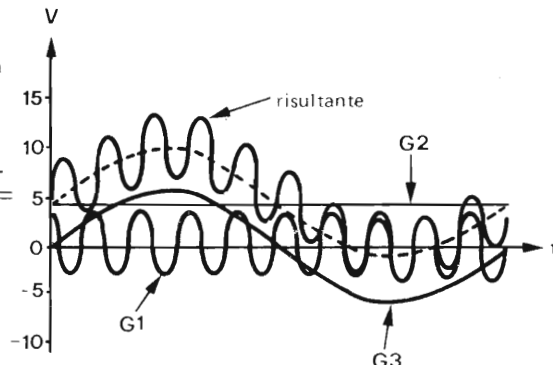
Avvertenza: Non si confonda questo concetto di somma di tensioni sinoidali di diversa frequenza con quello di modulazione sinoidale di una sinoide portante.

Questa infatti non è una somma, ma un prodotto di tensioni sinoidali.

ALCUNI ESEMPI SUL VALORE EFFICACE RISULTANTE TOTALE DELLA TENSIONE

Oggetto: Si esaminano numericamente i tre casi citati nella pagina precedente:

1) Le tre tensioni di questo esempio potrebbero essere { tre tensioni alternate in fase (V_{eff}) / tre tensioni continue

2) Le tre tensioni alternate di questo esempio sono della stessa frequenza, ma di fase diversa.

3) Le tre tensioni di questo esempio sono:
- alternata di frequenza pari a 10
- continua
- alternata di frequenza pari a 1

calcolo

$$V = \sqrt{3^2 + 4^2 + 5^2} = \sqrt{9 + 16 + 25} = \sqrt{50} = \sim 7\ \text{V}$$

Paragrafo 11.6

CORRENTE ALTERNATA

Indice degli argomenti e delle pagine

PARAGONE IDRAULICO DI CORRENTE ALTERNATA

Suggerimento: Confrontare questo testo con quello del foglio 11.51 per constatarne la perfetta reciprocità.

Fra tutti i tipi di corrente che si sono esaminati, la corrente alternata di qualsiasi forma è quella che viene più largamente sfruttata nelle apparecchiature elettroniche.

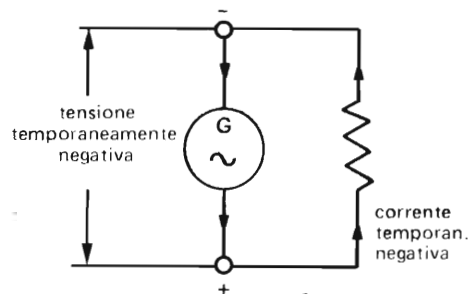
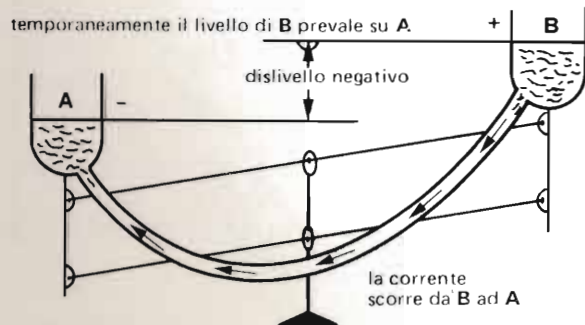
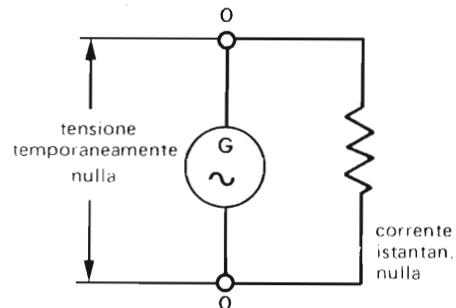
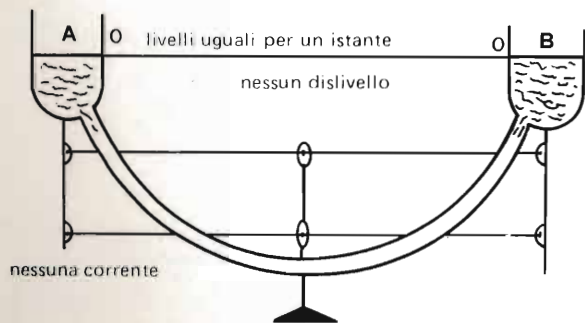
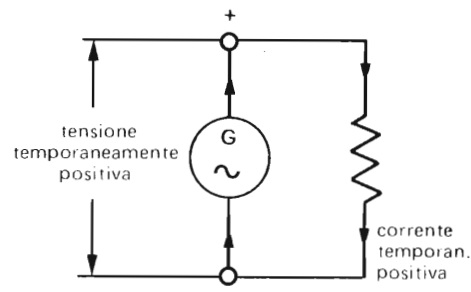
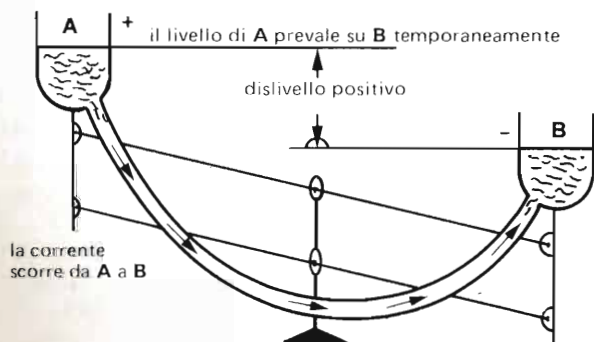
Spesso i profani ed i principianti si sorprendono nel venire a conoscenza che, ad esempio, in una radio, malgrado siano costanti le tensioni di alimentazione e certe tensioni di polarizzazione, circolano unicamente correnti alternate o correnti comunque variabili.

Si tenga presente che le radiazioni di qualsiasi tipo come la luce, il calore, il suono, sono fenomeni in cui sono presenti correnti alternate di varia natura.

Definizione (Vedansi anche gli argomenti 10.4 e 10.5)

Per corrente alternata si intende una corrente che vari continuamente di intensità nel tempo, invertendosi di direzione in modo tale da avere un valore medio uguale a zero.

Abitualmente si è portati ad intendere come corrente alternata la corrente sinoidale, ma non lasciamoci ingannare dalle comuni abitudini che sono legate al fatto che l'energia elettrica viene normalmente utilizzata sotto forma di corrente alternata sinoidale.

Paragoni idraulici;
Questa corrente, che continua a cambiare di direzione, è paragonabile ad un moto alternato di acqua in una tubazione quando il livello di spinta alle estremità si alza e si abbassa alternativamente.;

VALORE EFFICACE IN GENERALE DI CORRENTI ALTERNATE

Sebbene il valore medio di una corrente alternata sia uguale a zero, non è zero il lavoro che essa compie quando viene utilizzata.

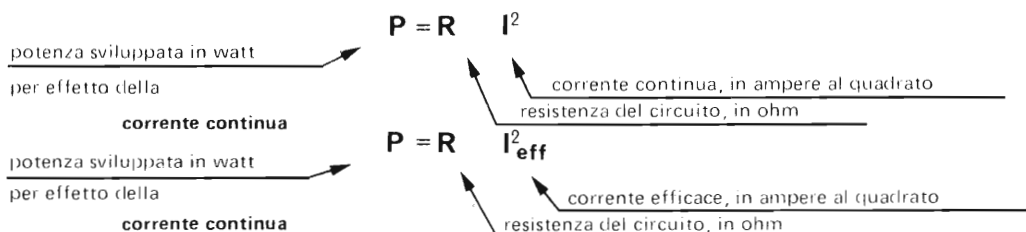
Infatti lo constatiamo ormai tutti i giorni nell'ambiente dove viviamo:

- la corrente alternata domestica e industriale è in grado di accendere le lampadine, produrre calore, azionare l'ascensore, gli apparecchi elettrodomestici, ecc.
- la corrente alternata che si produce per azionare un altoparlante è in grado di fargli emettere dei suoni
- la corrente alternata che si genera per far funzionare un'antenna trasmittente è in grado di farle irradiare un'energia che è captabile dagli apparecchi riceventi.

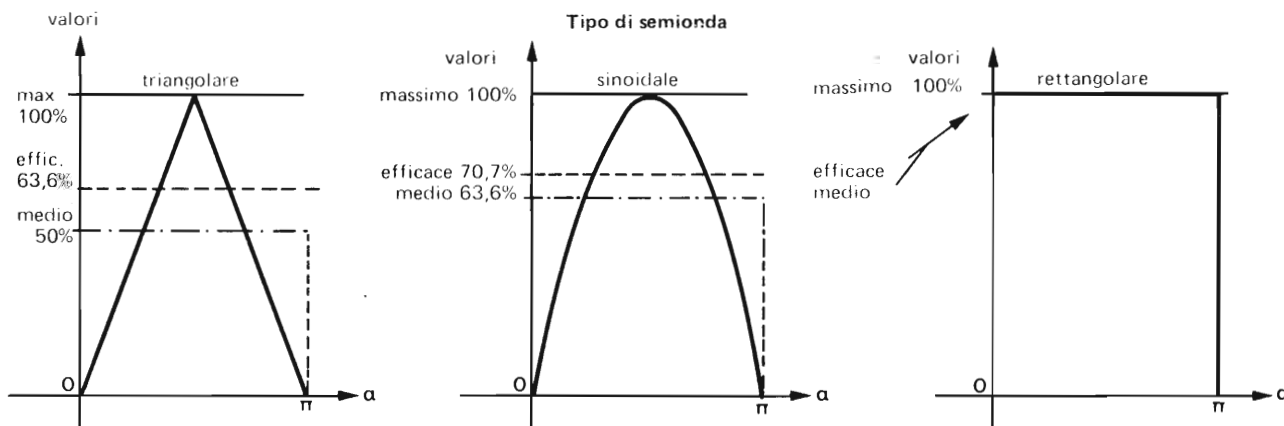
Prima conclusione
La corrente alternata, quando è in grado di sviluppare una potenza, è attiva sia durante la semionda positiva, sia durante la semionda negativa.

Seconda conclusione
Si tratta di trovare un valore convenzionale di corrente, rispetto al valore massimo, in modo che a quel valore corrispondano gli stessi effetti termici ed energetici prodotti da una corrente continua dello stesso valore. Questo valore si chiama effettivo o valore efficace.

Avvertenza
Il valore efficace non corrisponde sempre al valore medio di ogni semionda (vedi 10.57).

Criterio di scelta del valore efficace
Infatti, viste tutte queste premesse, si considererà l'espressione della potenza sviluppata da una corrente di un circuito.

Come si vede, per sviluppare la stessa potenza, nello stesso circuito, in corrente alternata, occorre lo stesso valore di corrente continua, purché per corrente alternata si intenda il suo valore efficace.

Il valore efficace è una frazione del valore massimo

Questo valore dipende dalla forma di onda, come si può vedere in questi esempi comparativi.

Suggerimento: Confrontare questo con il foglio 11.50 per le analogie con la tensione.

CORRENTE ALTERNATA SINOIDALE EFFICACE. CORRENTE PICCO-PICCO

Corrente efficace

La forma sinoidale è molto importante per la tensione e la corrente alternata, perché ad essa si può fare riferimento per qualsiasi altra forma di onda (paragrafo 10.5).
E' bene pertanto fissare qui le idee sul concetto di corrente efficace.
Normalmente, quando si dice ad esempio, comunemente: *"una corrente alternata da 40 mA"*
si intende sempre una corrente alternata sinoidale del valore efficace **i = 40 mA**

Nel caso della **forma sinoidale**, vediamo in che rapporto il valore efficace si trova con il valore massimo:

corrente massima diviso corrente efficace $\frac{I_M}{I} = \sqrt{2} = 1{,}41$

Perciò la

corrente massima → $I_M = 1{,}41\ I$ ← corrente efficace

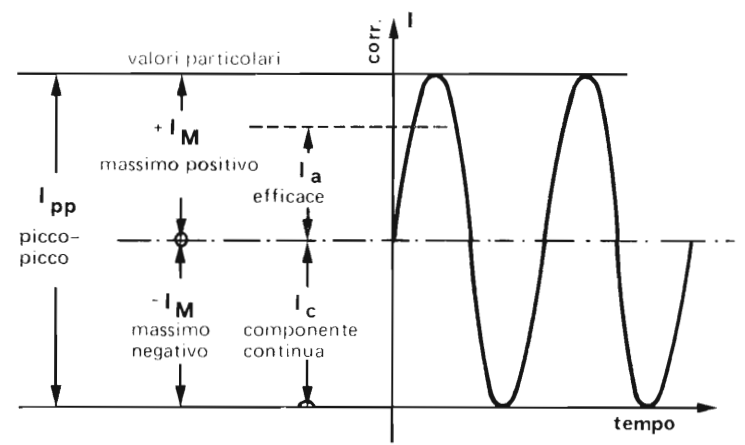
corrente efficace → $I = \frac{1}{1{,}41} I_M = 0.707\ I_M$ ← corrente massima

Pertanto quella corrente efficace $I = 40$ mA

raggiunge un valore massimo $V_M = 1{,}41 \times 40 = 56{,}5$ mA alternativamente positivo o negativo

Esercizio

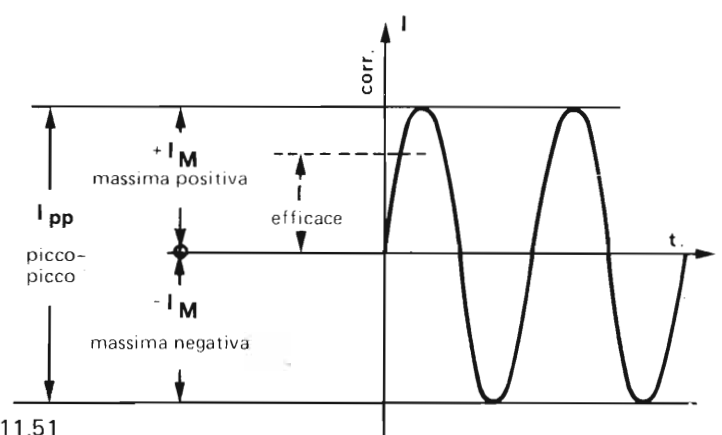
Ricerchiamo il minimo valore di corrente continua che vogliamo modulare in modo da ottenere una componente alternata tale che i valori della risultante siano tutti positivi.
E' sufficiente che il valore di componente continua sia uguale o maggiore del valore massimo negativo, della componente alternata, cioè:

$$I_c = I_M = \sqrt{2}\ V_a$$

Corrente picco-picco

La corrente picco-picco di una oscillazione è molto importante in elettronica, poiché spesso è necessario conoscere il valore della escursione totale di una oscillazione.
Essa è uguale al doppio della corrente massima, cioé

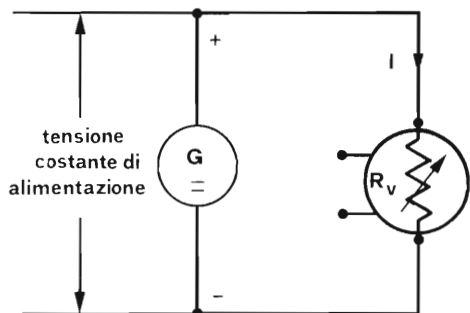
$$I_{pp} = 2\ I_M$$

e rispetto alla corrente efficace

$$I_{pp} = 2\sqrt{2}\ I$$

Suggerimento: Confrontare questo foglio con 11.51

POTENZA ASSORBITA DA CORRENTE CONTINUA MODULATA

Esaminiamo un caso particolare dove il valore efficace di una componente alternata gioca un ruolo importante quando si ha a che fare con correnti continue modulate.

Si osservi lo schema del circuito sotto riportato dove un generatore di tensione costante alimenta un circuito la cui resistenza R_v sia variabile in funzione di un segnale (modulazione).

Dimostreremo che, nel circuito rappresentato da questo dispositivo a resistenza variabile, si ha un assorbimento di potenza che non dipende solo dal valore della corrente continua che si crea in assenza di segnale (assenza di modulazione) ma anche dalla componente alternata modulante.

Questa potenza è uguale alla somma delle potenze che ciascuna componente sarebbe chiamata a contribuire se intervenisse da sola nel circuito.

In altre parole, una batteria si esaurisce più rapidamente se deve fornire una corrente modulata invece di una corrente continua uguale al valore medio della modulata.

Osservare la perfetta analogia con le tensioni (v. 11.52)

$I_{Ma} = I_M + I_c$

$I_M = \sqrt{2}\ I_a$

valori particolari

corr. I

$+I_M$ massimo positivo (componente alternata)

I_a efficace (componente alternata)

I_{Ma} massimo assoluto

$-I_M$ massimo negativo (componente alternata)

Attenzione questo **non** è il valore efficace totale

I_c medio della alternata o componente continua

I_{ma} minimo assoluto

0 — t_1 — tempo

$I_t = I_c + I_a$

$I_{ma} = I_c - I_M$

Δ t

Entro questo intervallo di tempo agisce la sola componente continua.
In questo caso la potenza assorbita dal circuito è:

$$P = R\ I_c^2$$

R: resistenza del circuito in Ω; I_c^2: corrente continua in ampere al quadrato

Da questo istante in poi il circuito a resistenza variabile modula la corrente continua presente e le fa assumere valori alternativamente maggiori o minori.
In questo caso la potenza assorbita dal circuito è:

$$P_t = R\ (I_a^2 + I_c^2)$$

R: resistenza del circuito in ohm; I_a: componente alternata in ampere; I_c: valore medio in amp.

Suggerimento: Confrontare con foglio 11.51

Paragrafo 11.7

RESISTENZA STATICA e RESISTENZA DIFFERENZIALE

Indice degli argomenti e delle pagine

CARATTERISTICA DI FUNZIONAMENTO DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO

Definizione

Dicendo semplicemente "caratteristica" di un elemento del circuito si intende l'analisi grafica su un diagramma (in coordinate cartesiane) di valori che la corrente che attraversa l'elemento in esame assume per ogni valore di tensione che viene applicato ai suoi estremi.

L'elemento del circuito (il componente per dirla in gergo) può essere analizzato nel suo comportamento sotto molti altri aspetti (v. sez. 2), ma la "caratteristica" per antonomasia è quella che abbiamo appena descritto e che in questo paragrafo andiamo ad analizzare a fondo nei suoi vari aspetti.

Descrizione

Per "caratteristica" si intende l'insieme degli aspetti illustrati in questa figura.

Osservazione

In questo paragrafo 11.7 noi analizzeremo gli aspetti di varie caratteristiche e i significati che da ciascuna si possono trarre e insisteremo ancora sulla differenza sostanziale dei due concetti di resistenza statica e resistenza dinamica o differenziale.

INSISTIAMO SUI CONCETTI

Vedremo di chiarire il motivo, per cui insistiamo sul concetto di resistenza statica e di resistenza differenziale.

Tutti i componenti elettronici ad esclusione di quelli puramente resistivi o reattivi, presentano un fenomeno che si può esemplificare in questo modo.

Supponiamo di applicare una tensione continua di 10 V ad un certo componente e di ottenere per questo una corrente continua di 100 mA.

La resistenza che ottengo è di 100 Ω cioè $R = \frac{V}{I} = \frac{10V}{0{,}1\ A} = 100\ \Omega$

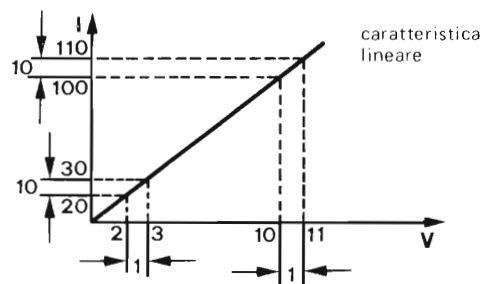
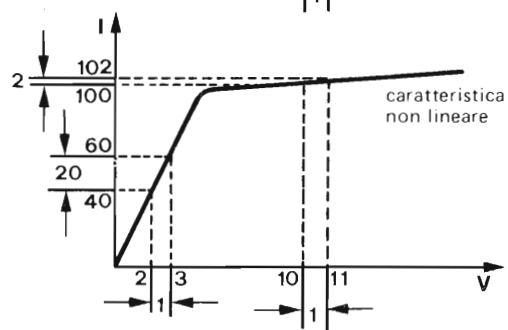
Se insieme a questa tensione continua io applico una tensione alternata di 1 V mi aspetterei di ottenere una corrente alternata di 10 mA perché

$$V = \frac{V}{R} = \frac{1\ V}{100} = 10\ mA$$

invece ottengo magari diciamo 2 mA di corrente alternata e anche meno, cioè come se la resistenza per la componente alternata fosse di 500 Ω o di più.

Succede dunque come se il comportamento in corrente alternata fosse diverso che in corrente continua e cioè che per la corrente alternata si abbia una resistenza diversa.

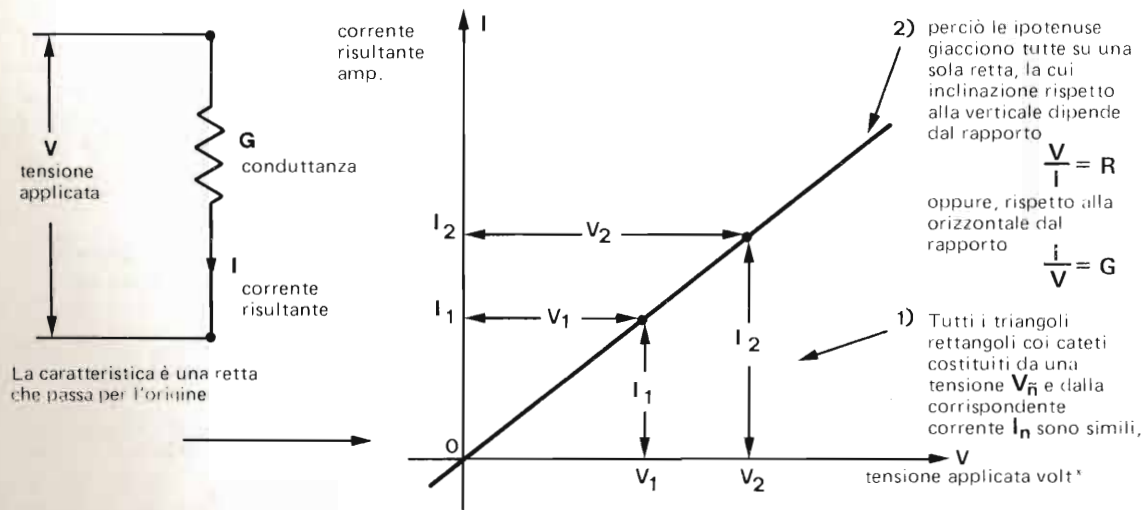
Non solo, ma può succedere anche che questa resistenza "diversa" in alternata cambia se modifico il valore della componente continua della tensione applicata.

Ebbene, tutto questo è dovuto al semplice fatto che

RESISTENZA PERFETTA IN CORRENTE CONTINUA

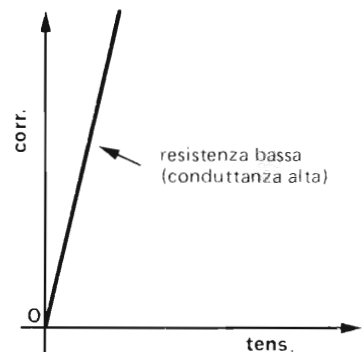
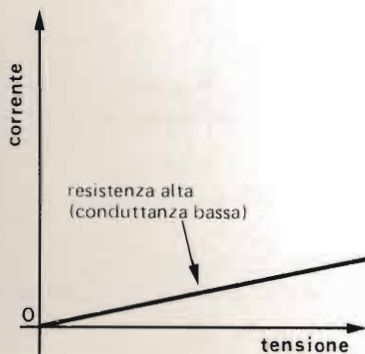
Per il concetto stesso di resistenza espresso con la legge di Ohm (10.21), una resistenza perfetta mantiene costante il suo valore, qualunque sia il valore della tensione applicata.

Infatti, la corrente che risulta in circolazione nel circuito, sarà sempre proporzionale alla tensione secondo un **coefficiente di proporzionalità** che si chiama

Esaminiamo graficamente e commentiamo la

CARATTERISTICA DELLA RESISTENZA PERFETTA

In conclusione, la retta che rappresenta la caratteristica sarà

più vicina alla orizzontale
per i valori alti di resistenza
(bassi di conduttanza)

più vicina alla verticale
per i valori bassi di resistenza
(alti di conduttanza)

N.B. – Abbiamo adottato il concetto di resistenza perfetta quando il dispositivo non è affetto da componenti reattive (cap. 14) nè da f.e.m., la sua caratteristica non devia dall'andamento rettilineo ed è sempre passante per l'origine **0** del diagramma.

RESISTENZA PERFETTA IN CORRENTE ALTERNATA

Gli stessi concetti di resistenza e di conduttanza espressi con la legge Ohm (10.21) sono applicabili anche alle tensioni alternate o comunque variabili.

Infatti, quanto detto nella pagina precedente per i regimi costanti (corrente continua), è valido anche per i regimi variabili (corrente alternata).

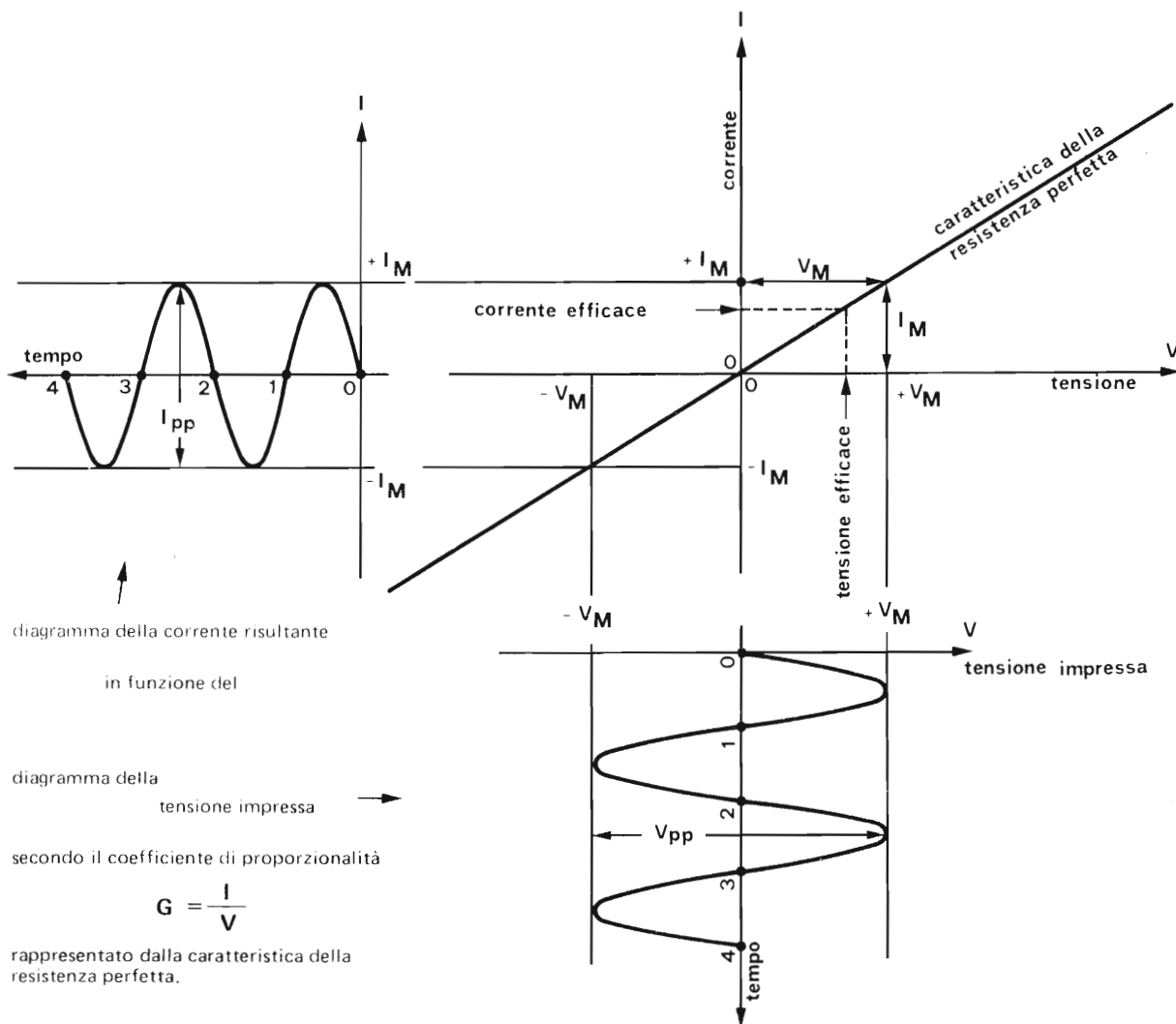
Quindi l'espressione

$$I = G\ V$$

corrente risultante (in ampere) → I; tensione applicata (in volt) → V; conduttanza (in siemens) → G

è valida anche quando vogliamo ottenere

- corrente efficace (I_{eff}) purché **V** sia espressa in valore efficace (V_{eff})
- corrente massima (I_M) purché **V** sia espressa in valore massimo (V_M)
- corrente picco-picco (I_{pp}) purché **V** sia espressa in valore picco-picco (V_{pp})

Esaminiamo graficamente l'argomento applicando una tensione alternata, ed impariamo a ragionare con i diagrammi multipli (caratteristica **VI** e diagrammi temporali) per studiare l'andamento della corrente.

N.B. - Insistiamo sul concetto di reversibilità di resistenza e conduttanza.

Non dimentichiamo che la caratteristica della resistenza perfetta é anche caratteristica della conduttanza perfetta.

Tutto dipende dal modo di "guardare" il diagramma a seconda che si consideri l'inclinazione della retta

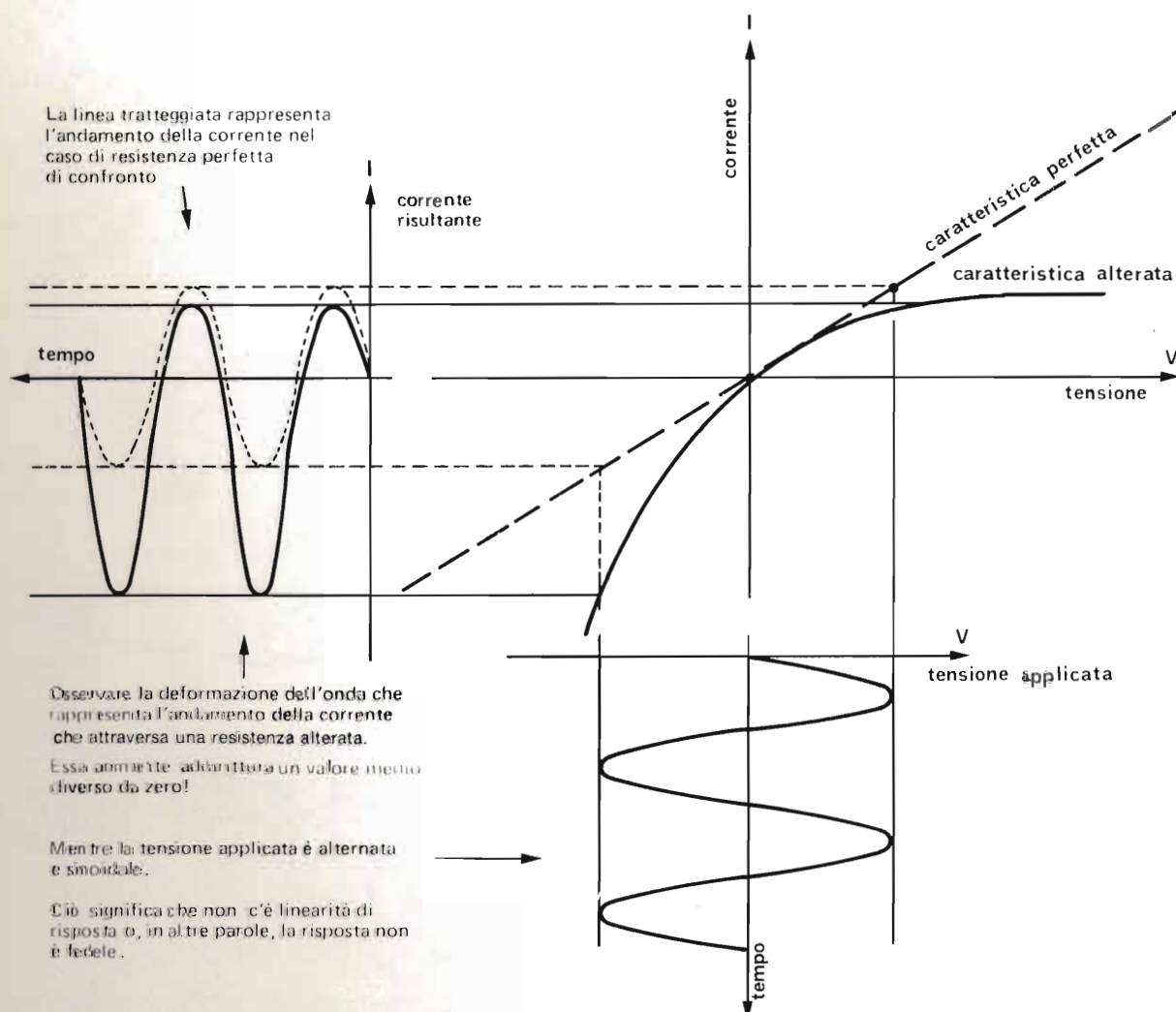
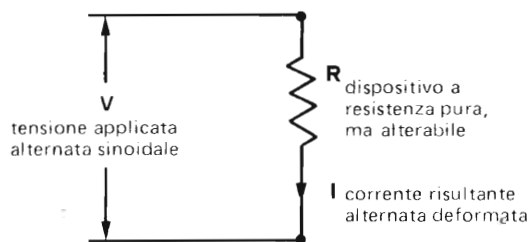
come $\frac{V}{I} = R$ (resistenza) oppure come $\frac{I}{V} = G$ (conduttanza)

CARATTERISTICA NON LINEARE IN CORRENTE ALTERNATA

Osserviamo ciò che succede quanso si ha a che fare con un dispositivo che presenti una resistenza di tipo alterabile.

Avvertenza – Una resistenza è perfetta quando il dispositivo che la presenta non è affetto da componenti reattive (vedi cap. 14) nè da forze elettromotrici e comunque la sua caratteristica deve essere rettilinea e passante per l'origine.

In questo caso l'alterabilità della resistenza in argomento si palesa dal fatto che la sua caratteristica, pur passando per l'origine, non è rettilinea.

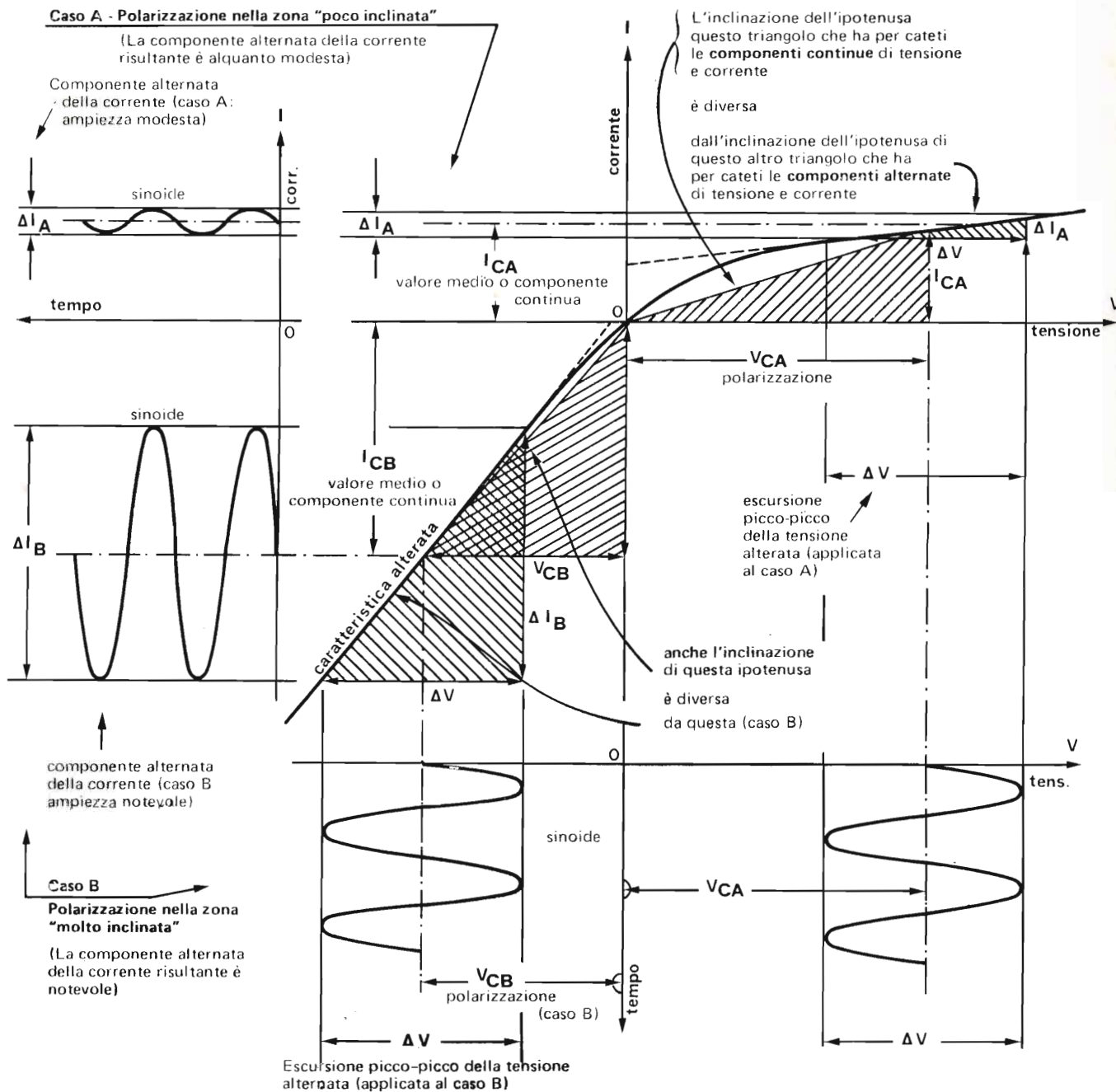
Si studia l'andamento della corrente in funzione di una tensione applicata di tipo alterato sinoidale.

Osservazione – Il fenomeno è reversibile nel senso che, se è una corrente sinoidale ad essere applicata, sarà la tensione ad essere la risultante deformata.

CARATTERISTICA NON LINEARE A TENSIONE VARIABILE POLARIZZATA

Ecco cosa succede quando si ha a che fare con tensioni alternate polarizzate applicate ai capi di una resistenza alterabile la cui caratteristica presenta tratti rettilinei il cui prolungamento non passa per l'origine.

In questo stesso diagramma si contemplano due casi corrispondenti a:

- *uno stesso valore delle componenti alternate delle tensioni applicate*
- *due diversi valori della tensione di polarizzazione.*

E' interessante constatare come una stessa tensione alternata, a seconda di come sia diversamente polarizzata, possa dar luogo a due correnti notevolmente diverse.

Conclusione – E' chiaro che in questi tipi di resistenza si può variare la componente alternata della corrente modificando la **componente continua** della tensione e viceversa.

CON UNA DATA TENSIONE ALTERNATA SI POSSONO OTTENERE DIVERSE CORRENTI ALTERNATE

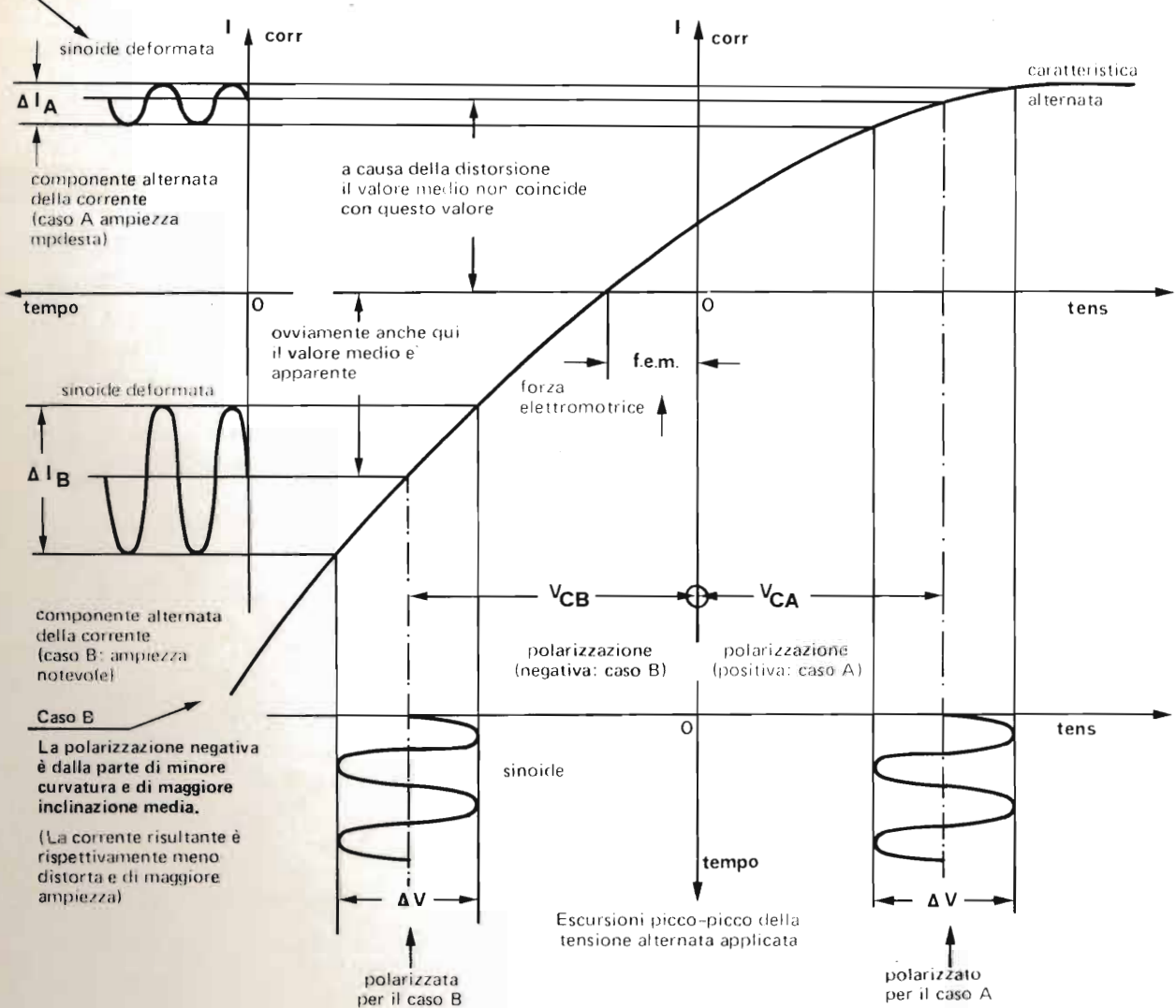
Anche in questo caso (vedi 11.71/2) si può modificare il valore della componente alternata della corrente, modificando il valore della componente continua della tensione e viceversa.

Inoltre, quando mancano tratti rettilinei nella caratteristica, non si potrà mai avere una forma di onda della corrente identica a quella della tensione applicata e viceversa.

Nel caso più generale poi resta il problema di dare un significato ai seguenti rapporti:

1) $\dfrac{\textbf{componente continua della tensione}}{\textbf{componente continua della corrente}}$ 2) $\dfrac{\textbf{componente alternata della tensione}}{\textbf{componente alternata della corrente}}$

Entrambi hanno la dimensione di una resistenza, ma non solo sono diversi fra di loro in ogni punto della caratteristica, ma anche cambiano di valore man mano che il punto si sposta sulla caratteristica.

Esaminiamo la figura che mostra la caratteristica di una resistenza alterata, affetta da forza elettromotrice e interamente curvilinea: perciò non si potrà parlare di inclinazione della ipotenusa, a meno che non si applichino tensioni così piccole da rendere impercettibile la deformazione dovuta alla curvatura della caratteristica.

Conclusione - E' necessario introdurre un nuovo concetto di resistenza che tenga conto di altri parametri della zona di caratteristica dove si vogliono far avvenire, polarizzandole, le escursioni della componente alternata.

RESISTENZA STATICA E RESISTENZA DIFFERENZIALE

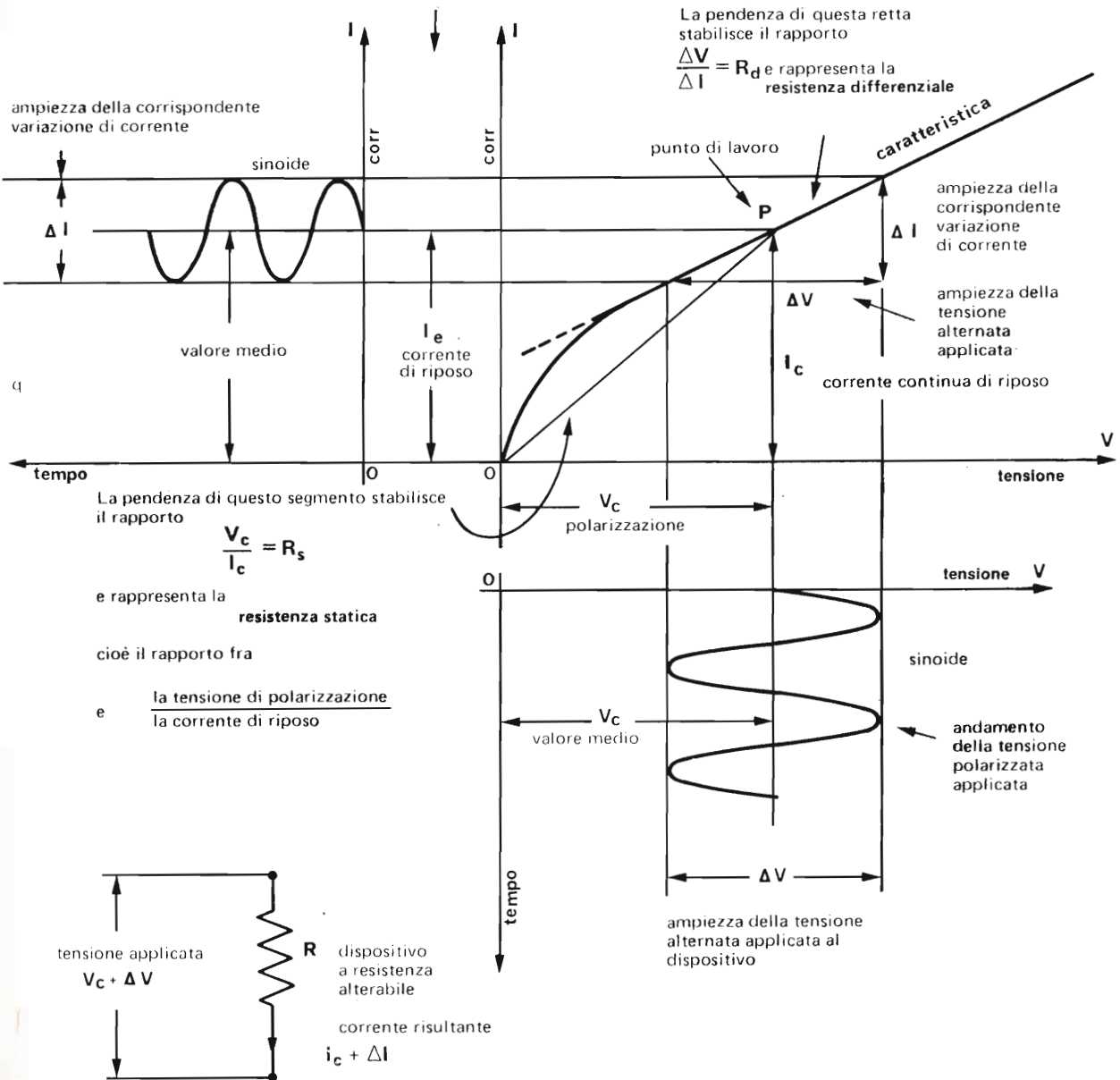
Se la caratteristica presenta un tratto rettilineo non passante per l'origine degli assi sul quale facciamo avvenire le oscillazioni polarizzate, il rapporto fra

$$\frac{\text{tensioni applicate}}{\text{correnti corrispondenti}}$$ (che ha le dimensioni di una resistenza)

è diverso per uno stesso punto di lavoro a seconda che si tratti di componenti variabili oppure di componenti continue. Definiamo dunque le seguenti grandezze:

Resistenza differenziale $R_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ = $\frac{\text{ampiezza della variazione di tensione applicata}}{\text{ampiezza della variazione di corrente corrispondente}}$

Resistenza statica R_s $\frac{V_c}{I_c}$ = $\frac{\text{valore della tensione costante di polarizzazione}}{\text{valore della corrente continua corrispondente}}$

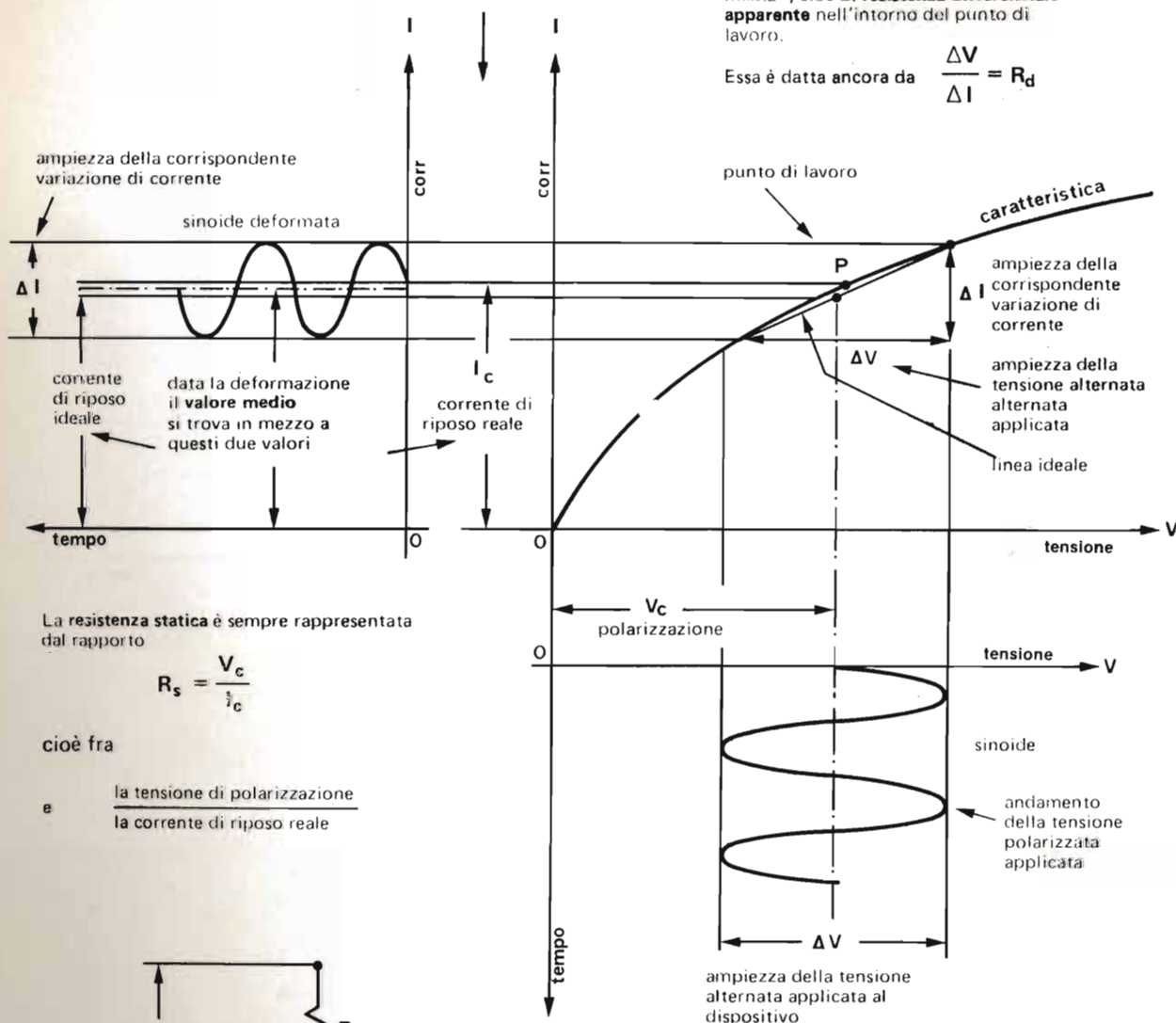
Osserviamo le figure con tutti i loro commenti.

Schema di collegamento del dispositivo a resistenza alternabile

DEFORMAZIONI D'ONDA NEGLI ELEMENTI A CARATTERISTICA CURVILINEA

Attenzione ora a ciò che succede quando la caratteristica della resistenza è interamente curvilinea;

Le oscillazioni di tensione che applichiamo ai suoi capi creano delle oscillazioni di corrente di forma distorta e il valore della corrente di riposo non coincide più con il valore medio.

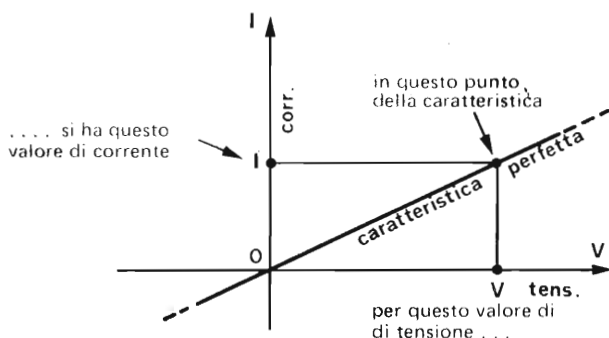
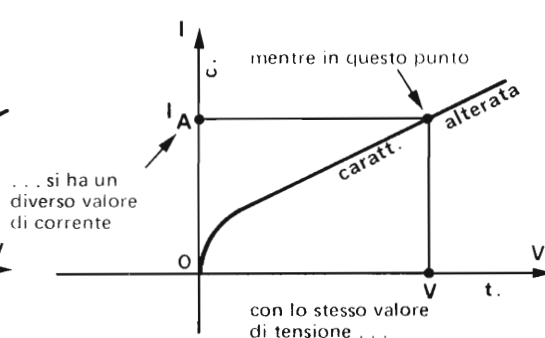
Osserviamo le figure con tutti i loro commenti e confrontiamole con quelle del foglio 11.72-2

Schema di collegamento del dispositivo a resistenza alterabile

CONFRONTI CON LA RESISTENZA STATICA

Il concetto di semplice resistenza prima conosciuto, cioé quello per il quale per ogni valore di tensione corrisponde un valore di corrente, prende ora il nome di resistenza statica non solo per distinguerlo da quello di resistenza dinamica o differenziale, ma anche perché la resistenza statica assume un significato leggermente differente da quello di resistenza perfetta.

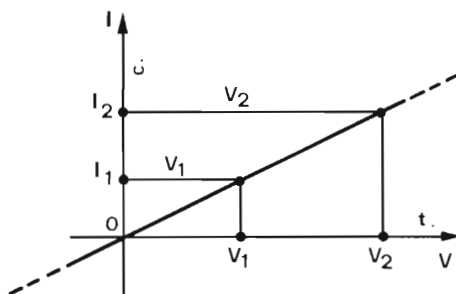
(vedi 11.71-1)

Esaminiamo due caratteristiche aventi la stessa inclinazione.

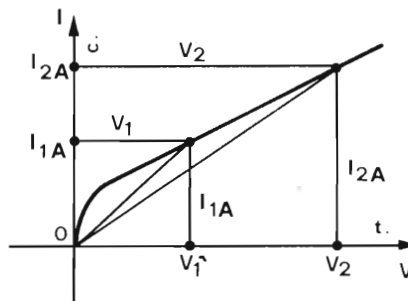
1) Caratteristica di resistenza perfetta **2) Caratteristica di resistenza alterata**

E' evidente che vale anche il ragionamento inverso, cioé che per uno stesso valore di corrente si hanno due diversi valori di tensione nei due casi.

Ripetiamo i diagrammi per dare ulteriori spiegazioni sui concetti di resistenza e ripetiamo che in entrambi i casi il significato di resistenza è legato al rapporto

$$\text{resistenza in ohm} \rightarrow R = \frac{V}{I} \leftarrow \frac{\text{tensione applicata in volt}}{\text{la corrispondente corrente in ampere}} \text{ (diviso)}$$

Mentre nel caso di resistenza perfetta

... il valore della resistenza statica
è unico ed immutabile
per qualsiasi punto della caratteristica

I triangoli rettangoli formati con i
rispettivi valori di tensione e di corrente
sono simili
e le ipotenuse sono allineate

Mentre nel caso di resistenza alterata

... il valore della resistenza **statica**
cambia
per ogni punto della caratteristica.

I triangoli rettangoli formati con i
rispettivi valori di tensione e di corrente
non sono simili
e le ipotenuse non sono allineate.

RESISTENZA DIFFERENZIALE POSITIVA E NEGATIVA

Segno di un intervallo Δ (differenziale finito)

Con il simbolo Δ (delta maiuscola) si intende la differenza fra due valori di una stessa grandezza (si dice anche: intervallo di valori).

Questa differenza, per un intervallo di due valori $(X_2 - X_1)$ è

+) **positiva,** se X_2 **è maggiore di** X_1 $(X_2 > X_1)$

–) **negativa,** se X_2 **è minore di** X_1 $(X_2 < X_1)$.

Segno di un rapporto differenziale

Se due grandezze appartnenenti allo stesso fenomeno vengono messe in correlazione, come potrebbero essere tensione (**V**) e corrente (**I**) in un dispositivo, bisogna star bene attenti di assumere i valori corrispondenti quando di vuol determinare un rapporto differenziale.

I valori corrispondenti sono quelli contrassegnati con lo stesso indice;

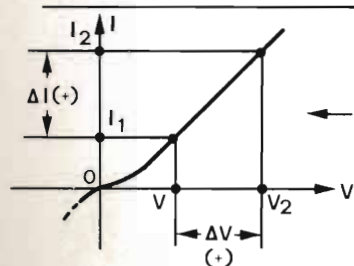
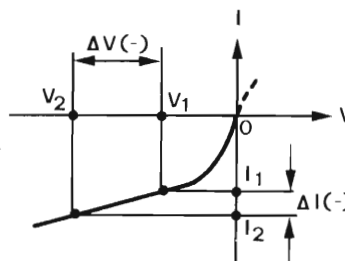
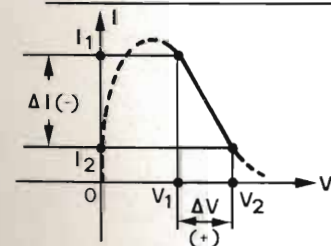
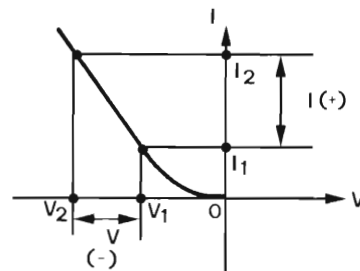
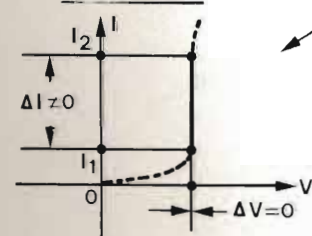
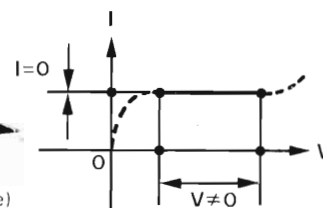
Nel nostro caso si intenderà per **ΔV** il valore differenziale $V_2 - V_1$

per **ΔI** il corrispondente valore $I_2 - I_1$

La **resistenza differenziale** già nota come il rapporto $R_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$

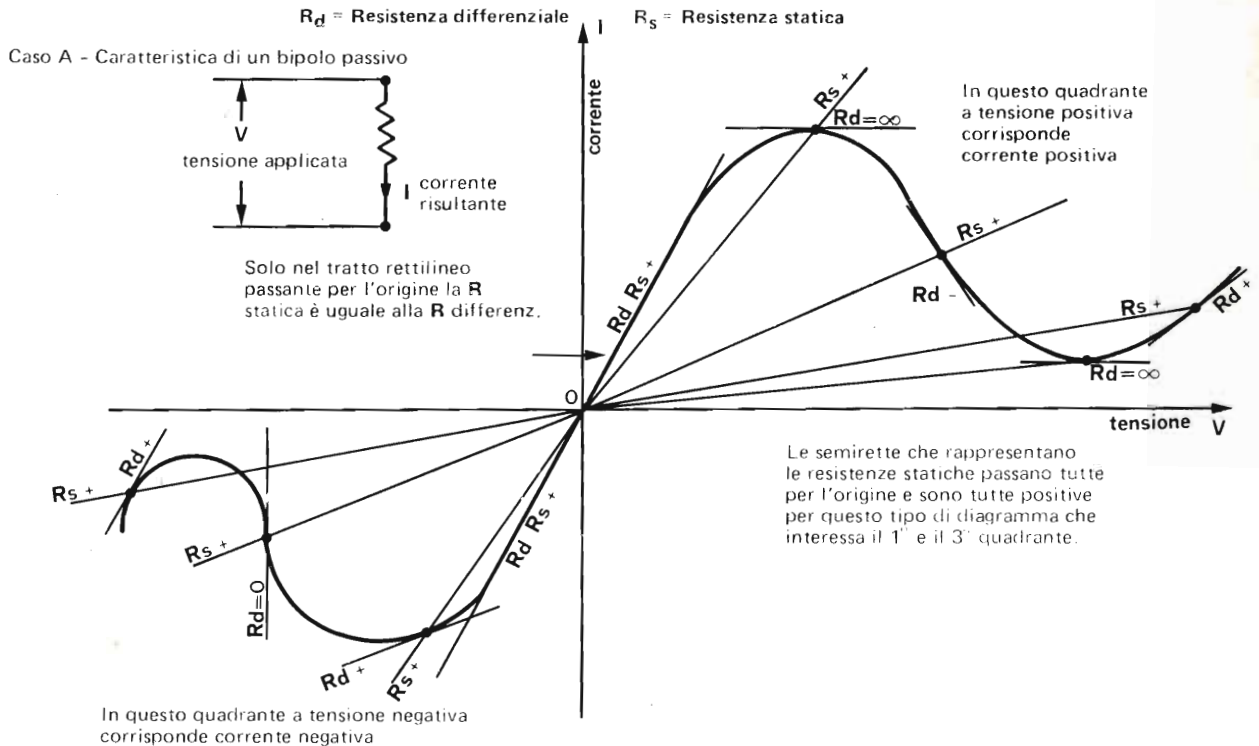
si può scrivere anche come il rapporto $R_d = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I}$

Vediamo negli esempi che seguono i vari valori e segni che questo rapporto può assumere.

+) **Resistenza differenziale positiva**

–) **Resistenza differenziale negativa**

lim.) Valori limite

ESAME GENERALE DI UNA CARATTERISTICA TENSIONE-CORRENTE

Per riassumere i concetti fin qui espressi esaminiamo due caratteristiche appositamente costruite:

R_d = Resistenza differenziale R_s = Resistenza statica

Caso A - Caratteristica di un bipolo passivo

Caso B - Caratteristica di un bipolo attivo

Le semirette che rappresentano le resistenze statiche passano tutte per l'origine.